

# Секреты электрической сети

Как устроен путь энергии  
до квартиры

ГЕНЕРАЦИЯ  
ЭНЕРГИИ

МАГИСТРАЛЬНЫЕ  
ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

ПОДСТАНЦИИ  
И ТРАНСФОРМАЦИЯ

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ  
СЕТИ

ЭНЕРГИЯ  
В ВАШЕМ ДОМЕ

# **Артем Демиденко**

# **Секреты электрической**

# **сети: Как устроен путь**

# **энергии до квартиры**

*<https://litres.ru/74435073>*

*SelfPub; 2026*

## **Аннотация**

Почему свет загорается одним движением выключателя? Как энергия проходит путь от электростанции через линии, подстанции и районную сеть до розетки в вашей квартире? Эта книга превращает электрическую сеть из невидимой загадки в понятную карту.

Вы узнаете, почему напряжение повышают и понижают, что происходит во вводе дома и квартирном щите, как работают счётчик и автоматы, сколько нагрузки выдерживает проводка и почему отключение света иногда помогает найти неисправность. Практические наблюдения, правила безопасного ремонта и советы по экономии научат видеть опасные симптомы и разумно готовить квартиру к новым приборам и технологиям. После чтения розетка станет началом большого маршрута, а не его концом.

Книга создана с помощью ИИ. Обложка: GPT Image -  
Лицензия

# Содержание

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| От розетки назад к электростанции              | 5  |
| Электроны не едут по проводу как вода по трубе | 24 |
| Откуда берётся электричество в системе         | 40 |
| Почему напряжение сначала повышают             | 63 |
| Подстанция: узел, где меняется масштаб         | 86 |
| Конец ознакомительного фрагмента.              | 95 |

# **Артем Демиденко**

## **Секреты электрической сети: Как устроен путь энергии до квартиры**

### **От розетки назад к электростанции**

У Елены Орловой чайник щёлкнул, загорелся индикатор, но вода так и не начала нагреваться. Холодильник продолжал гудеть, в коридоре светился ночник, а электрическая плита не подавала признаков жизни. Алексей посмотрел на розетку и сказал:

— Значит, розетка сломалась.

Через несколько минут выяснилось, что розетка исправна: напряжение на ней было. Неисправность находилась внутри самой варочной панели — сработала её внутренняя защита. Электричество поступало и к чайнику, и к плите, но разные устройства распорядились им по-разному.

Этот бытовой эпизод показывает главную ловушку, с которой начинается изучение электроснабжения. Мы привыкли смотреть на электричество с последнего метра: есть ро-

розетка, вилка, выключатель и прибор. Но розетка — не источник энергии и даже не начало домашней сети. Это всего лишь точка, в которой сложная система заканчивается для пользователя и становится доступной прибору.

Чтобы понять, почему загорелась лампа, а плита не включилась, полезно мысленно двигаться в обратную сторону: от прибора к квартирному щиту, от щита к этажному, затем к вводу дома, распределительной линии, трансформаторной подстанции и дальше — к источнику генерации. Такой маршрут не превращает жильца в диспетчера энергосистемы. Он даёт другое: помогает отличить неисправность в квартире от проблемы на общем участке, правильно описать ситуацию и не искать причину там, где её быть не может.

### **Что на самом деле приходит в квартиру**

Когда человек говорит: «В розетку приходит электричество», он обычно имеет в виду сразу несколько разных вещей. В бытовой сети жилого дома это переменное напряжение, поданное между рабочим проводником и нейтралью. Обычно речь идёт о номинале 230 вольт в однофазной квартирной сети, хотя конкретное значение может отклоняться в допустимых пределах. Прибор получает не «порцию электричества», которая заранее лежала в кабеле, а возможность подключиться к работающей электрической системе.

**В обычной розетке могут быть доступны три проводника:**  
**фазный, на котором относительно нейтрали при-**

**существует напряжение;**

**нейтральный, или рабочий нулевой, замыкающий рабочую цепь;**

защитный, предназначенный не для обычной работы прибора, а для отвода опасного тока при повреждении изоляции и срабатывания защитных устройств.

В старых домах защитного проводника в отдельных розетках может не быть либо его устройство может не соответствовать современным требованиям. Поэтому наличие третьего контакта ещё не доказывает, что защитная мера выполнена правильно. Проверять такие вещи должен квалифицированный специалист, а не человек с перемычкой между контактами.

Для работы прибора нужны не только провода, но и замкнутая цепь, исправные соединения, подходящая защита и сам потребитель, способный принять энергию. Лампа, обогреватель, зарядное устройство и электродвигатель используют один и тот же источник напряжения по-разному. Один превращает электрическую энергию главным образом в свет, другой — в тепло, третий — запасает её в аккумуляторе, четвёртый — преобразует в движение.

**Поэтому фраза «в квартире есть электричество» слишком груба для диагностики. Гораздо полезнее сообщить точнее:**

«В розетках кухни напряжение есть, но не включается только варочная панель».

«На лестничной площадке свет есть, а в квартире погасли все группы».

«В одной комнате свет работает, а в другой розетки обесточены».

«После включения обогревателя отключился автомат в квартирном щите».

Каждая такая формулировка сужает область поиска. Электромонтёр Игорь Петрович, которому жильцы часто звонят по аварийному телефону, знает это по практике. Сообщение «у нас пропал свет» может означать отключение одного автомата, неисправность светильника, потерю питания на этаже или аварийное отключение всего дома. Если же человек говорит, что не работают все розетки квартиры, но свет в комнатах горит, проверку можно начать с конкретной группы в щите, а не с внешней линии.

### **Путь энергии состоит из участков**

Для простого бытового объяснения электроснабжение достаточно разделить на четыре крупных этапа.

Генерация — выработка электрической энергии на электростанции. Генератор преобразует механическую энергию вращения в электрическую. Вращение может обеспечиваться паровой или гидравлической турбиной, газовой установкой, ветровым агрегатом и другим оборудованием. На этом уровне появляется электрическая мощность, которую нужно передать потребителям.

Передача — перемещение больших потоков мощности по

электрическим сетям на значительные расстояния. Для этого используют линии высокого напряжения. На подстанциях напряжение повышают для передачи, а затем понижают по мере приближения к районам потребления. При той же передаваемой мощности более высокое напряжение позволяет уменьшить ток и снизить потери на нагрев проводников.

Распределение — доставка электрической энергии от узлов энергосистемы к районам, улицам, кварталам и отдельным зданиям. Здесь появляются распределительные подстанции, кабельные и воздушные линии, вводы в дома и устройства защиты.

Потребление — работа оборудования внутри здания: освещения, бытовой техники, насосов, лифтов, вентиляции, компьютеров и всего остального, что подключено к сети.

Эти четыре слова помогают не смешивать разные задачи. Электростанция не занимается ремонтом розетки. Квартирный автомат не управляет линией, которая питает несколько домов. Управляющая организация отвечает за одни элементы дома, а сетевая организация — за другие. Точные границы зависят от схемы подключения, документов и условий договора, но физическая последовательность остаётся той же.

На пути к квартире напряжение обычно проходит несколько преобразований. Генератор выдаёт энергию на уровне, удобном для присоединения к сети. Трансформаторная подстанция изменяет это напряжение. Затем энергия передаётся по линиям более высокого класса напряжения, сно-

ва преобразуется и поступает в распределительную сеть. В районе дома очередная подстанция снижает напряжение до уровня, пригодного для потребителей. От неё кабель или воздушная линия направляется к зданию, проходит через вводное устройство, общедомовой щит и квартирный щит.

В реальности схема может быть сложнее. Дом способен получать питание по нескольким вводам, иметь автоматическое переключение резерва, отдельные линии для лифтов и противопожарных систем. В некоторых зданиях предусмотрены дизельные или иные резервные источники для специальных потребителей. Но для первой оценки важно не запоминать все варианты, а задать один вопрос: на каком участке цепочки исчезло напряжение?

### **Почему одного кабеля не существует**

Алексей однажды нарисовал на листе линию: от электростанции к дому, от дома к квартире. Елена посмотрела на схему и спросила:

— А где на этой линии щиток?

— Здесь, наверное, — ответил он, поставив точку возле дома.

— А подстанция?

Алексей добавил вторую точку.

— А если отключился автомат у нас, почему электричество пропало только на кухне?

Линия на листе выглядела понятно, но для диагностики была бесполезна. Она показывала направление, зато скрыва-

ла узлы, разветвления и защиту.

Электрическая сеть не похожа на один длинный провод, проложенный от генератора до вашей розетки. Это система участков, соединённых коммутационными аппаратами, трансформаторами, распределительными устройствами и точками ответвления. На каждом участке возможны свои повреждения, свои предохранители и свои ответственные организации.

Представьте дорогу. Между городом и деревней есть не только асфальт, но и мосты, перекрёстки, съезды, шлагбаумы и участки с ограничением движения. Если машина не приехала, причина может быть в двигателе, на мосту, после перекрёстка или у самого дома. Электрическая сеть устроена похожим образом, только её элементы работают одновременно и обычно остаются невидимыми.

Квартирная сеть тоже не сводится к одному кабелю. После ввода в квартиру питание распределяется по группам. Отдельная линия может идти к освещению, другая — к розеткам комнат, третья — к кухонным розеткам, четвёртая — к стиральной машине, пятая — к электрической плите или водонагревателю. В щите на каждой группе могут стоять автоматические выключатели, устройства защитного отключения или дифференциальные автоматы.

Разветвление нужно не только для удобства. Оно ограничивает последствия неисправности. Если повреждение произошло в цепи стиральной машины, правильно выполненная

защита должна отключить эту группу, а не обесточить всю квартиру. Однако селективность защиты зависит от характеристик аппаратов, состояния монтажа и конкретной схемы. Поэтому нельзя автоматически считать, что при любом коротком замыкании отключится только ближайший автомат.

Отдельную роль играют соединения. Кабель может быть целым по длине, но контакт в клемме — ослабленным, окисленным или перегруженным. Тогда проблема возникает не на «магистрали», а в узле. Нагревающийся контакт способен вызвать запах, потемнение пластика, потрескивание и отключение защиты. В такой ситуации нельзя продолжать включать прибор для проверки. Питание группы следует отключить, а осмотр доверить специалисту.

### **Куда звонить и что говорить**

Границы ответственности редко совпадают с простой схемой «до счётчика отвечает одна сторона, после счётчика — другая». В многоквартирном доме могут участвовать собственник квартиры, управляющая организация или товарищество собственников, сетевая организация и гарантирующий поставщик. У каждой стороны своя роль, а граница определяется схемой, актами разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности, договором и фактическим расположением оборудования.

Жильцу не требуется выяснять всю юридическую конструкцию в первые минуты аварии. Сначала нужно определить масштаб.

Если не работает один прибор, а остальные устройства работают, начните с прибора, его вилки, шнура и отдельного автомата, если он предусмотрен.

Если не работают несколько розеток одной комнаты, но свет работает, вероятно проблема группы розеток, её автомата, соединения или линии.

Если в квартире отключилось всё, а на лестничной площадке есть свет, проверьте квартирный щит: не отключились ли автомат, устройство защитного отключения или дифференциальный автомат. Возвращать рычаг допустимо только после исключения очевидной причины, например перегрузки. Многократно включать аппарат, который сразу отключается, нельзя.

Если в квартире и на лестничной площадке темно, уточните, есть ли электричество у соседей. Если у соседей тоже нет питания, вероятно, проблема находится на общем участке дома или во внешней сети. Если у соседей всё работает, неисправность может быть во вводе вашей квартиры, квартирном щите или конкретной группе.

Если в подъезде есть свет, но не работают лифты, домофон или насосное оборудование, это может быть отдельная линия общедомовых потребителей. Сообщать об этом нужно управляющей организации или аварийной службе дома, а не описывать ситуацию как «полное отключение квартиры».

Если появился запах горелой изоляции, дым, искрение или сильный нагрев щита либо розетки, не ищите причи-

ну включением и выключением аппаратов. Отключите питание, если это можно сделать безопасно, отойдите от повреждённого места и вызовите аварийную службу. При возгорании звоните в пожарную охрану по номеру 101 или 112. Вода рядом с электрооборудованием опасна: сначала требуется обесточивание, если его можно выполнить без риска.

### **Хорошее сообщение Игорю Петровичу звучит так:**

«В квартире 47 не работают все розетки, освещение работает. В квартирном щите автомат группы розеток включён и не отключается. У соседей электричество есть. Запаха гари нет».

### **Плохое сообщение:**

«У нас опять проблемы с электричеством, приходите срочно».

В первом варианте есть адрес, зона отказа, состояние защиты, сравнение с соседями и важный признак безопасности. По такому сообщению можно подготовить проверку. Во втором нет даже масштаба происшествия.

На практике ответственность за оборудование в квартире обычно начинается с участка, относящегося к внутриквартирной сети, но конкретную границу нельзя устанавливать «на глаз». Общедомовые щиты, стояки и вводные устройства могут относиться к общему имуществу дома. Кабель до дома, наружная линия или трансформаторная подстанция обычно находятся в зоне ответственности сетевой организации. Однако для жильца это не повод самостоятельно от-

крывать запертый щит или искать подстанцию. Правильный маршрут — сообщить в аварийную службу управляющей организации, диспетчерскую сетевой организации или единую службу, которая принимает обращения и передаёт их исполнителю.

## **Простая однолинейная схема**

Однолинейная схема — это упрощённый рисунок электрической установки, в котором целая система проводников одной цепи часто показана одной линией. Её задача — не изобразить каждый провод в натуральном виде, а показать порядок соединения оборудования.

Для первого чтения достаточно двигаться слева направо или сверху вниз и задавать каждому узлу четыре вопроса:

Что это за устройство?

Откуда оно получает питание?

Куда оно передаёт питание?

Что произойдёт при неисправности?

**Например, базовую цепочку квартиры можно представить так:**

генерация → повышающая подстанция → сеть передачи → понижающая подстанция → распределительная сеть района → трансформаторная подстанция → ввод дома → общедомовой щит → квартирный ввод → квартирный щит → групповой автомат → розетка → прибор.

Это не электрическая схема конкретного дома и не инструкция по монтажу. Это карта пути. В реальной одноли-

нейной схеме между этими пунктами могут быть измерительные приборы, аппараты защиты, рубильники, резервные вводы, шины, заземляющие устройства и несколько отходящих линий.

У схемы есть важное свойство: она показывает не только движение энергии, но и места разделения. После общедомового щита одна линия может идти в квартиру 41, другая — в квартиру 42, третья — к освещению подъезда, четвёртая — к лифту. Если отключилась линия квартиры 41, это не означает, что неисправна вся сеть дома.

Читайте схему как дерево. Ствол — участок, общий для нескольких потребителей. Ветви — отдельные линии. Если отказали все ветви после одного узла, проверяют общий узел или участок до него. Если отказала только одна ветвь, искать нужно после места разделения.

### **Первый разбор квартиры Орловых**

Квартира Орловых находится в типовом многоквартирном доме. В ней есть прихожая, две комнаты, кухня и санузел. После переезда Алексей составил список устройств: холодильник, электрический чайник, стиральная машина, посудомоечная машина, телевизор, роутер, пылесос, микроволновая печь, освещение и варочная панель. Елена добавила обогреватель, которым они пользовались в межсезонье.

На первый взгляд это просто перечень бытовых приборов. Для сети же — набор разных нагрузок. Одни устройства работают почти постоянно, другие включаются ненадолго, тре-

тьи потребляют большую мощность во время нагрева. Если одновременно включить чайник, обогреватель и микроволновую печь в одной группе, автомат может отключить питание из-за перегрузки. Если стиральная машина повреждена и ток утечки превышает допустимый уровень, сработать может устройство защитного отключения. Пользователь в обоих случаях скажет: «выбило электричество», но причины будут разными.

Игорь Петрович попросил Алексея не перечислять приборы подряд, а нарисовать путь питания от щита.

**В квартирном щите обнаружили:**

**вводной аппарат;**

**несколько автоматов групповых линий;**

**устройство защитного отключения;**

**отдельная линия для варочной панели;**

**линии розеток кухни и комнат;**

**линии освещения.**

**Игорь Петрович объяснил:**

— Если не работает только одна розетка, не начинаем с подстанции. Сначала смотрим, к какой группе она относится. Если отключилась вся квартира, выясняем, есть ли питание до вводного аппарата. Если темно во всём подъезде, проверяем уже общий участок.

**Алексей спросил:**

— А если автомат включён, но напряжения в розетке нет?

— Тогда положение рычага ещё не доказывает исправ-

ность линии. Оно показывает состояние механизма, а не наличие напряжения в каждой дальней точке. Может быть плохое соединение, обрыв, неисправность аппарата или повреждение кабеля. Измерять нужно прибором и с соблюдением требований безопасности.

После этого Орловы составили для себя не схему проводов, а схему симптомов.

Однажды отключился автомат кухонных розеток. Холодильник остановился, чайник не включался, но свет на кухне продолжал гореть. Алексей сначала хотел включить всё обратно. Елена заметила, что перед отключением они одновременно использовали чайник и микроволновую печь, а посудомоечная машина начала нагревать воду.

Здесь сработало первое правило: если после одновременного включения нескольких мощных приборов отключилась одна группа, сначала рассматривают перегрузку. Орловы выключили часть приборов и один раз включили автомат. Он остался во включённом положении. После распределения нагрузки проблема не повторилась.

Через неделю сценарий оказался другим. Стиральная машина остановилась, а устройство защитного отключения в щите обесточило не только её розетку, но и часть кухни. После повторного включения защита сработала снова. Алексей хотел проверить машину «ещё раз», но остановился: повторное срабатывание означало, что причина не исчезла. Пригласили специалиста. Тот обнаружил повреждение в цепи на-

гревательного элемента машины.

Третий случай произошёл ночью. Во всей квартире погас свет, но в соседней квартире электричество было. В щите Орловых вводной аппарат оказался отключённым. Рядом не было запаха гари, нагрева или следов оплавления. После отключения всех мощных приборов аппарат удалось включить, однако на следующий день они сообщили о случившемся управляющей организации. Самопроизвольное отключение вводного аппарата нельзя считать нормальной частью эксплуатации: оно может быть следствием перегрузки, неисправности аппарата или проблемы на линии.

Эти три эпизода похожи только внешне. В первом, вероятно, произошла перегрузка отдельной группы. Во втором — утечка тока в приборе. В третьем проблема могла возникнуть на вводе квартиры или быть связана с перегрузкой общей нагрузки. Одинаковая фраза «пропал свет» скрывала три разных участка цепи.

### **Упражнение: пройдите путь от розетки**

Возьмите одну розетку, например ту, к которой обычно подключаете чайник. Не открывайте её и не снимайте крышки щита. Ваша задача — построить функциональную цепочку по видимым и документированным элементам.

### **Запишите:**

1. Какой прибор подключается к этой розетке.
2. Какие ещё розетки или приборы отключаются, если выключить соответствующий автомат группы.

3. Есть ли отдельная линия для этого прибора или он делит группу с другими розетками.

4. Где находится квартирный щит.

5. Какие признаки покажут, что проблема относится к квартире, а какие — что она находится выше по сети.

**Дальше достройте цепочку назад:**

розетка → групповая линия → автомат или устройство защиты → квартирный щит → ввод в квартиру → общедомовой щит → ввод дома → районная сеть → трансформаторная подстанция → более крупная сеть → генерация.

Не нужно угадывать название конкретной подстанции или искать её по карте. Цель упражнения — увидеть узлы и границы, а не получить инженерный паспорт дома.

**Затем проведите проверку реальности. Для каждой неисправности закончите фразу:**

Если не работает только один прибор, то сначала проверяю...

Если не работают все розетки одной группы, но свет есть, то смотрю...

Если не работает вся квартира, но у соседей электричество есть, то сообщаю...

Если не работает весь подъезд, то обращаюсь...

Если есть запах горелого, искрение или дым, то...

Правильные ответы не обязаны быть одинаковыми для всех домов. Но логика должна сохраняться: сначала масштаб, потом ближайший доступный узел, затем участок вы-

ше по цепи. Нельзя начинать с разбора розетки, если отключена вся линия дома. Нельзя обвинять внешнюю сеть, если после перегрузки на кухне отключился один автомат. Нельзя включать защиту снова и снова, если она немедленно срабатывает.

### **Дерево решений для бытовой ситуации**

Если проблема касается одного прибора, проверьте, работает ли другой исправный прибор в той же розетке. Делайте это только при отсутствии признаков повреждения и не подключайте заведомо мощную нагрузку для эксперимента. Если другая техника работает, подозрение переходит к первому прибору, его вилке или шнуру. Если не работает и другая техника, переходите к группе и щиту.

Если отключилась защита и после отключения подозрительного прибора она удерживается, не возвращайте в работу всё сразу. Подключайте приборы постепенно, наблюдая, не повторится ли отключение. При повторном срабатывании конкретное устройство оставляют отключённым до проверки специалистом.

Если отключился автомат и сразу снова отключается без нагрузки, не удерживайте его рукой и не заменяйте на более мощный. Это может скрыть неисправность и увеличить риск перегрева проводки. Номинал защитного аппарата выбирают не по принципу «чтобы больше не выбивало», а с учётом сечения кабеля, схемы и допустимой нагрузки.

Если проблема затронула соседей, подъезд или несколько

домов, не тратьте время на перестановку вилок в квартире. Запишите время отключения, масштаб и доступные признаки, затем передайте сообщение в диспетчерскую службу. Если питание появляется и исчезает, особенно при мерцании света или щелчках аппаратов, это тоже следует описать, а не ограничиваться словом «мигает».

### **Поворот в восприятии**

После составления схемы Алексей перестал говорить: «Электричество идёт в квартиру». Он стал говорить иначе: «Наша кухонная группа получает питание через квартирный щит; щит подключён к вводу дома, а ввод — к распределительной сети района». Фраза звучала технически, но была полезной. В ней появились участки, узлы и точки, где могла возникнуть неисправность.

Елена получила другой ориентир. Ей больше не нужно было помнить устройство всей энергосистемы, чтобы действовать безопасно. Достаточно было определить, что именно отказало, сравнить ситуацию с соседями, посмотреть на защиту, не разбирая оборудование, и правильно сообщить о симптомах.

Электрическая энергия действительно проходит длинный путь до квартиры, но для бытовой диагностики важен не список всех электростанций и линий. Важен порядок мышления. Розетка — конечная точка видимой жилы цепи. За ней находятся квартирная сеть, домовый ввод, распределение района, подстанции и магистральные линии. Перед ней

— не пустой провод, а система, в которой энергия вырабатывается, преобразуется, распределяется и защищается.

Именно поэтому авария в квартире не всегда означает аварию на электростанции, а отключение дома не всегда связано с неисправностью бытового прибора. Чем точнее мы видим границы участков, тем быстрее понимаем, где искать причину и кому передавать сообщение.

В следующей главе мы разберём образ, который мешает даже внимательным людям: будто электроны едут по проводу от электростанции к чайнику, как вода по трубе. С этого сравнения удобно начать, но если принять его буквально, оно приведёт к ошибкам в понимании напряжения, тока, цепи и работы выключателя.

# **Электроны не едут по проводу как вода по трубе**

Когда Алексей Орлов впервые посмотрел на квартирный щиток, он увидел несколько автоматов, счётчик и провода, уходящие в стены. Казалось, схема проста: электричество приходит в квартиру, расходится по проводам и поступает к приборам. Но такая картина быстро приводит к ошибкам. Она объясняет, почему люди говорят «в розетке много электричества», путают ватты с вольтами и считают, что при включении мощного прибора электроны должны физически добежать от электростанции до чайника.

Цепочку электроснабжения уже можно проследить от розетки назад: через квартирный щиток, ввод в дом, распределительную сеть и более крупные узлы. Теперь нужно разобраться, что именно движется по этой цепочке, что заставляет заряд двигаться и почему один прибор потребляет больше энергии, чем другой.

## **Мифы, которые мешают увидеть схему**

Миф первый: электричество течёт по проводу, как вода по трубе.

Провод действительно напоминает трубу, а ток часто описывают словом «течёт». Но сходство ограничено. В водопроводе вода перемещается на значительное расстояние — от

насоса к крану. В металлическом проводе свободные электроны уже находятся по всей его длине. Когда цепь замыкается, они не начинают массово прибывать в розетку с электростанции. Электрическое поле перестраивается вдоль цепи, и электроны начинают двигаться в ответ на это поле.

В цепи постоянного тока электроны получают небольшое направленное смещение. В бытовой сети переменного тока направление и величина электрического поля периодически меняются, поэтому электроны в проводнике в основном совершают колебательное движение взад-вперёд. Они не продвигаются от электростанции до квартиры и обратно.

При этом энергия передаётся нагрузке: нагревателю, двигателю, блоку питания или лампе. Упрощённая фраза «ток пришёл в чайник» описывает результат, но не буквальное путешествие одних и тех же электронов.

Миф второй: чем выше напряжение, тем больше электричества в розетке.

Напряжение — не запас электричества и не количество электронов. Это разность электрических потенциалов между двумя точками, то есть условие, при котором электрическое поле может передавать энергию зарядам. В российской бытовой сети номинальное напряжение между фазным и нулевым проводниками составляет 230 вольт, а частота переменного тока — 50 герц.

Слово «номинальное» означает расчётное значение, вокруг которого напряжение может изменяться. Оно не обе-

щает, что прибор в каждый момент видит ровно 230 вольт. На напряжение влияют нагрузка в доме, состояние соединений, длина линии и другие факторы. Однако бытовые приборы проектируют для работы в установленном диапазоне, а не для идеальной цифры без отклонений.

Миф третий: мощный прибор просто «берёт больше напряжения».

Прибор не выбирает напряжение по своему желанию. Напряжение задаётся сетью, а ток зависит от сопротивления и характера нагрузки. Мощность показывает, с какой скоростью прибор потребляет и преобразует энергию.

Электрический чайник мощностью 2000 ватт и зарядное устройство мощностью 20 ватт подключаются к одной бытовой сети с примерно одинаковым номинальным напряжением. Разница в том, какой ток требуется каждому прибору и во что преобразуется полученная энергия. Чайник быстро нагревает воду, а зарядное устройство передаёт сравнительно небольшую мощность аккумулятору.

Миф четвёртый: если прибор рассчитан на 230 вольт, он всегда потребляет один и тот же ток.

Ток зависит не только от напряжения, указанного на маркировке, но и от нагрузки. У нагревательного элемента зависимость обычно относительно проста: при близком к номинальному напряжении ток определяется сопротивлением спирали. У холодильника, насоса, пылесоса или кондиционера есть двигатель. При запуске он может кратковремен-

но потреблять ток, заметно превышающий рабочий. У импульсных блоков питания ток тоже может иметь сложную форму.

Поэтому надпись «автомат на 16 ампер» не означает, что каждый подключённый прибор будет потреблять ровно 16 ампер. Это номинал защитного устройства, при котором оно может отключить линию с учётом своих характеристик и времени действия. Автомат защищает проводку и оборудование от недопустимого тока, а не подаёт его в розетку принудительно.

Миф пятый: если в розетке есть напряжение, энергия уже доступна прибору.

Напряжение между контактами может присутствовать, но пока цепь не замкнута, ток через нагрузку не течёт. Это похоже на закрытый кран в водопроводе, хотя бы на уровне образа: давление есть, а расхода нет. Электрическая цепь требует двух путей и нагрузки между ними. Если один путь разорван, прибор не получает рабочего тока, даже если между одним из проводников и другим присутствует опасная разность потенциалов.

Именно поэтому к розетке нельзя относиться как к безобидному месту, где «ничего не происходит, пока не включили прибор». Само наличие напряжения уже создаёт риск поражения током при контакте с токоведущими частями. Проверку внутри розетки, щитка и распределительных коробок должны выполнять специалисты с подходящими из-

мерительными приборами.

**Правильная модель: четыре величины вместо одного слова «электричество»**

Чтобы описывать бытовую сеть без путаницы, достаточно различать четыре величины: напряжение, ток, мощность и энергию.

Напряжение обозначают буквой  $U$  и измеряют в вольтах. Это разность потенциалов между двумя точками. Для бытовой розетки обычно имеется в виду напряжение между фазным и нулевым проводниками. Если напряжение есть, электрическое поле может воздействовать на заряды в подключённой цепи.

Ток обозначают буквой  $I$  и измеряют в амперах. Он показывает, какой заряд проходит через сечение проводника за единицу времени. Чем больше ток, тем сильнее нагружаются проводник, контакты, клеммы и защитные устройства. При одинаковом токе тонкий длинный провод нагревается сильнее, чем короткий провод подходящего сечения: его сопротивление выше.

Сопротивление обозначают буквой  $R$  и измеряют в омах. Оно описывает, насколько цепь препятствует движению заряда. Для простого участка цепи используют соотношение  $I = U / R$ . Если сопротивление неизменно, увеличение напряжения приводит к росту тока. Если напряжение остаётся тем же, а сопротивление уменьшается, ток увеличивается.

Для бытовых приборов эта формула полезна как ориен-

тир, но не как универсальное описание любого режима. Нагревательная спираль, электродвигатель и электронный блок ведут себя по-разному. У двигателя сопротивление в момент запуска и во время работы нельзя считать одной и той же постоянной величиной.

Мощность обозначают буквой  $P$  и измеряют в ваттах. Она показывает скорость потребления или преобразования энергии. В простом случае мощность рассчитывают так:  $P = U \times I$ . При напряжении около 230 вольт прибор мощностью 2300 ватт потребляет примерно 10 ампер в рабочем режиме. Прибор мощностью 1150 ватт — примерно 5 ампер.

Это оценка для нагрузки, работающей в обычном режиме. Для двигателей и некоторых электронных устройств нужно учитывать коэффициент мощности и особенности тока. На бытовой маркировке обычно указана номинальная или максимальная мощность, а фактическое потребление может меняться.

Энергия — это уже не скорость, а количество выполненной работы за определённое время. В быту её часто измеряют в киловатт-часах. Прибор мощностью 1 киловатт, работающий один час, потребляет 1 киловатт-час энергии. Нагреватель мощностью 2 киловатта за 30 минут непрерывной работы потребит примерно 1 киловатт-час.

Здесь часто возникает ошибка: человек видит на приборе 2000 ватт и считает, что это его расход за час. Нет. 2000 ватт — мощность, то есть темп потребления. Расход энергии за-

висит от времени работы и режима.

## **Проверка реальности: чайник, обогреватель и холодильник**

Представим кухню Орловых. Елена включает чайник мощностью 2000 ватт. В это время работает холодильник и включён роутер. Елена смотрит на щиток и спрашивает:

**«Если чайник взял 2000 ватт, значит, он забрал из сети 2000 вольт?»**

Нет. Вольты и ватты измеряют разные величины. Напряжение сети — около 230 вольт, а мощность чайника — около 2000 ватт. Рабочий ток можно оценить делением:  $2000 / 230$ , то есть примерно 8,7 ампера.

Если в той же группе работает обогреватель мощностью 1500 ватт, его ток составит примерно 6,5 ампера. Вместе нагревательные приборы могут потребовать около 15 ампер без учёта остальных потребителей. Для линии с автоматом на 16 ампер это уже близко к рабочему пределу. Если добавить микроволновую печь, стиральную машину или другой мощный прибор, защита может отключить линию.

Из этого не следует, что автомат «плохой» или мешает пользоваться техникой. Он реагирует на сочетание нагрузки, времени и условий работы линии. Его задача — не дать проводке длительно работать в опасном режиме. Если автомат отключается регулярно, нельзя просто заменить его на устройство с большим номиналом. Сначала выясняют сечение кабеля, состояние соединений, схему групп и реальную

нагрузку.

Холодильник добавляет к картине ещё одну сложность. Его компрессор включается не постоянно, а циклами. В момент запуска двигатель может потребить повышенный ток, а затем перейти к меньшему рабочему потреблению. Поэтому холодильник нельзя оценивать по одной секунде включения или по одной цифре на шильдике.

## **Практическая мастерская без опасного вмешательства**

Для этого упражнения не нужно разбирать розетку. Достаточно спокойно понаблюдать за приборами и их режимами. Цель — научиться не смешивать четыре величины и увидеть, что мощность связана со временем.

Шаг первый. Выберите три бытовых прибора, которыми пользуетесь регулярно: например, чайник, телевизор и холодильник. Перепишите с табличек или из инструкций их мощность. Если указано «от» или «до», сохраните оба значения. Для прибора с несколькими режимами отметьте, что мощность может меняться.

Шаг второй. Для каждого прибора определите, что происходит с энергией. Чайник почти всю полученную электрическую энергию превращает в тепло воды и окружающих деталей. Лампа превращает часть энергии в свет, а остальную — в тепло. Электродвигатель преобразует её в механическую работу, но также выделяет тепло и создаёт шум. Электронное устройство распределяет энергию между обработ-

кой сигналов, зарядом аккумулятора, подсветкой и нагревом компонентов.

Шаг третий. Оцените ток по формуле  $I \approx P / 230$ , которая подходит для простых бытовых расчётов. Для чайника мощностью 2000 ватт получится около 8,7 ампера. Для обогревателя мощностью 1500 ватт — около 6,5 ампера. Для лампы мощностью 10 ватт — около 0,04 ампера.

Знак «примерно» здесь обязателен. У двигателя и электронного блока результат может отличаться от реального рабочего тока. Но оценка показывает порядок величин: нагреватель на киловатты создаёт большую нагрузку на линию, а маломощная лампа — небольшую.

Шаг четвёртый. Умножьте мощность в киловаттах на время работы в часах. Чайник мощностью 2 киловатта, работающий 6 минут, то есть 0,1 часа, потребит примерно 0,2 киловатт-часа. Если он кипятит воду несколько раз в день, расход складывается из всех включений.

Шаг пятый. Посмотрите, какие мощные приборы могут включаться одновременно в одной группе. Не меняйте схему и не переносите провода самостоятельно. Задача состоит только в том, чтобы сопоставить мощность приборов с устройством квартиры. Если автомат отключается, розетка нагревается, слышно потрескивание или появляется запах нагретого пластика, эксплуатацию подозрительной точки прекращают и вызывают электрика.

Такой эксперимент показывает главное: прибор не «заби-

рает ватты из розетки» как предмет, который можно вычерпать. Он создаёт режим тока в замкнутой цепи и преобразует энергию с определённой скоростью. Чем выше мощность и дольше работа, тем больше энергии учтёт счётчик.

### **Что происходит в момент подключения нагрузки**

До подключения прибора между контактами розетки поддерживается переменное напряжение. В российской бытовой сети напряжение меняет направление 50 раз в секунду по каждому полному циклу: один цикл занимает  $1/50$  секунды. Для бытового понимания достаточно знать, что это не постоянный поток в одну сторону, а периодически меняющийся режим.

Когда исправный прибор подключают к фазному и нулевому проводникам, цепь замыкается через его внутренние элементы. В электрическом поле свободные заряды начинают двигаться в проводнике и деталях прибора. В нагревательном элементе движение зарядов сопровождается выделением тепла. В двигателе создаются магнитное поле и механическое движение. В электронном блоке переменное напряжение сначала преобразуется в другие параметры, необходимые схемам устройства.

Энергия поступает не потому, что новые электроны должны прибыть издалека, а потому, что в цепи возникают условия для её передачи. Это можно сравнить с длинным рядом шариков: если слегка сдвинуть крайний шарик, воздействие передастся по ряду, хотя каждый шарик переместится лишь

на небольшое расстояние. Сравнение неполное, но оно лучше образа воды, которая долго течёт от станции к квартире.

В цепи переменного тока направление движения зарядов периодически меняется. При этом нагреватель продолжает нагреваться, потому что выделение мощности зависит от режима тока и напряжения, а не от того, движутся ли заряды всё время в одну сторону. Двигатель тоже может работать, поскольку переменное магнитное поле создаёт нужный вращающий эффект.

Проводник не является идеальным каналом. У него есть сопротивление, а у соединений — контактное сопротивление. При прохождении тока часть энергии выделяется в самом проводе в виде тепла. В исправной линии это тепло ограничено расчётом. Плохая клемма, ослабленный контакт или повреждённый участок могут локально нагреваться сильнее, чем весь провод. Поэтому розетка, вилка или соединение могут стать опасными даже тогда, когда автомат ещё не отключился.

**Почему ватты, вольты и амперы нельзя менять местами**

**Алексей однажды позвонил Игорю Петровичу после отключения кухонной линии:**

«Поставьте автомат помощнее. У меня в розетке не хватает ампер, когда работает чайник».

Эта реплика звучит по-бытовому, но скрывает сразу несколько возможных проблем. В розетке не «хранятся ам-

перы». Ток возникает в подключённой цепи и зависит от нагрузки. Если автомат отключает линию, причины могут быть разными: слишком большая суммарная мощность, неисправность прибора, повреждение изоляции, короткое замыкание, плохое соединение или несоответствие защитного аппарата проводке.

### **Игорь Петрович сначала уточняет:**

«Что именно отключилось — автомат какой группы или всё освещение и розетки? Какой прибор был включён? Автомат отключается сразу или через несколько минут? Есть ли запах, нагрев, следы оплавления?»

Эти вопросы полезнее фразы «пропал свет». Масштаб и момент отключения дают информацию о месте и характере проблемы. Если срабатывает только один автомат при запуске конкретного прибора, проверяют прибор и его линию. Если отключается вводное устройство всей квартиры, рассматривают суммарную нагрузку или проблему до отдельных групп. Если напряжение исчезло у нескольких квартир, причина может находиться в общедомовом или внешнем участке.

Нельзя путать и номинал автоматического выключателя с мощностью квартиры. Автомат на 16 ампер при напряжении около 230 вольт соответствует ориентировочной мощности порядка 3,7 киловатта, но это не разрешение постоянно нагружать линию до расчётного предела. Реальная допустимая нагрузка зависит от проводки, способа прокладки, темпера-

туры, длины линии, состояния контактов и требований проекта. Самостоятельная установка автомата на 25 или 32 ампера может скрыть перегрузку и увеличить риск перегрева проводов.

Есть и другая ошибка: «На приборе написано 230 вольт, значит, он потребляет 230 ватт». Нет. Число 230 относится к напряжению питания, а не к мощности. На бытовом приборе могут быть указаны такие параметры: 230 В, 50 Гц, 2000 Вт. Это означает, что прибор предназначен для сети с определёнными напряжением и частотой, а его номинальная мощность в указанном режиме составляет около 2000 ватт.

### **Короткие скрипты для точного описания проблемы**

Вместо «в квартире слабый ток» можно сказать: «При включении обогревателя и чайника через несколько минут отключается автомат группы розеток».

Вместо «розетка даёт мало электричества» — «Прибор запускается, но работает нестабильно; нужно проверить напряжение под нагрузкой и состояние контактов».

Вместо «у меня скачут ватты» — «Свет кратковременно меняет яркость при включении мощного прибора».

Вместо «автомат не пропускает нужную мощность» — «Автомат отключает линию при одновременной работе приборов с суммарной мощностью около такого-то значения».

Точные слова — не формальность. Они помогают специалисту отличить перегрузку от плохого контакта, неисправность прибора от проблемы на вводе, а локальную неисправ-

ность — от аварии в доме.

## **Один вечер у Орловых**

Через месяц после переезда Елена включила электрическую духовку, а затем чайник. Через несколько минут на кухне погас свет, тогда как в комнате телевизор продолжил работать. Елена решила, что «в доме просело электричество», и хотела позвонить в аварийную службу.

Алексей посмотрел на щиток. Отключился один автомат, подписанный «Кухня». Остальные группы оставались включёнными. Они выключили чайник, дождались, пока духовка перестанет нагреваться, и включили автомат. Он не отключился сразу. Позже выяснилось, что на кухонной группе одновременно работали духовка, чайник и посудомоечная машина. Каждое устройство по отдельности было исправно, но их совместная нагрузка оказалась слишком высокой для этой линии.

На следующий день Игорь Петрович проверил схему и контакты. Он не ограничился советом «не включайте всё сразу». Временно семье действительно пришлось распределить использование приборов по времени, но затем они уточнили, какие линии проложены к кухне, какова их защита и можно ли организовать отдельную группу для мощного оборудования. Это уже инженерное решение, а не попытка победить автомат более крупным номиналом.

Этот случай помог Елене разделить три разные ситуации. Первая — кратковременное включение нескольких мощных

приборов, когда суммарная нагрузка превышает возможности группы. Вторая — неисправность одного прибора, которая может вызывать отключение даже при небольшой общей нагрузке. Третья — плохой контакт, при котором линия может нагреваться и вести себя нестабильно без мгновенного срабатывания автомата.

### **Чек-лист бытового понимания**

Если нужно оценить прибор, начинайте с напряжения: для обычной российской бытовой сети ориентиром служат 230 вольт и частота 50 герц.

Затем смотрите на мощность в ваттах или киловаттах. Она показывает скорость потребления энергии, а не её объём за весь срок работы.

Для приблизительной оценки рабочего тока делите мощность в ваттах на 230. У двигателя, компрессора и некоторых электронных устройств результат считайте ориентиром, а не точным измерением.

Чтобы оценить расход энергии, умножайте мощность в киловаттах на время работы в часах.

Если отключается защита, не увеличивайте номинал автомата самостоятельно. Сначала зафиксируйте, какой аппарат отключился, какой прибор работал, произошло ли отключение сразу или с задержкой, были ли нагрев, запах, шум или следы повреждения.

Если розетка нагревается, искрит, пахнет горелой изоляцией или прибор работает с перебоями, его отключают и

обращаются к квалифицированному специалисту. Не нужно проверять наличие напряжения пальцами, металлическими предметами или разборкой розетки под напряжением.

### **Фиксация результата**

**После этой главы достаточно уметь составить короткое описание любого бытового прибора по четырём пунктам:**

«Он подключается к сети с определённым напряжением. Через него проходит ток, величина которого зависит от нагрузки и режима работы. Мощность показывает скорость потребления энергии. Энергия, учтённая счётчиком, зависит от мощности и времени».

Эта формула не заменяет расчёт проекта и не описывает всех тонкостей работы двигателей, импульсных блоков питания или трёхфазных установок. Но она защищает от главной бытовой путаницы. Напряжение — условие передачи энергии, ток — движение заряда в цепи, мощность — скорость преобразования энергии, энергия — итоговое количество работы за определённое время.

Электричество не прибывает в квартиру порциями, которые можно «вычерпать» из розетки. После подключения нагрузки вся система — генератор, линия, трансформаторы, ввод, квартирная проводка и прибор — переходит в новый электрический режим. Следующая задача — понять, откуда берётся энергия, поддерживающая этот режим, и какую роль в нём играет электростанция.

# Откуда берётся электричество в системе

До квартиры электричество приходит не из одного «источника», который можно указать пальцем на карте. За розеткой стоит система, где разные электростанции одновременно превращают топливо, движение воды, ядерное тепло, ветер или солнечное излучение в электрическую мощность. А за устойчивостью этой системы следят люди и автоматика: в каждый момент они сопоставляют, сколько потребители забирают и сколько генераторы способны отдать.

Когда прослеживаешь путь от розетки назад, становится понятна и другая вещь: авария в квартире может быть лишь последним звеном большого процесса. Если в доме погас свет, причина иногда находится в квартирном щитке, иногда — на вводе, а иногда — за много километров, на подстанции или линии. Чтобы не гадать, нужно увидеть, как электричество появляется в сети и почему его количество приходится постоянно подстраивать под меняющийся спрос.

## **Когда электричество «уже есть»**

В день переезда Орловых Алексей подключил холодильник, чайник, зарядные устройства, пылесос и электрическую дрель. Елена включила стиральную машину и попросила не трогать щиток: после недавнего отключения она опасалась,

что «в доме опять что-нибудь замкнёт».

Через несколько минут свет в квартире погас.

— Всё, сеть не выдержала, — сказала Елена. — Мы ещё даже не включили обогреватель.

Алексей посмотрел на квартирный щиток. Один автомат действительно отключился. Но в коридоре горел свет, а у соседей работал телевизор. Значит, дом не остался без питания, и искать причину нужно внутри их квартиры или на её линии.

На лестничной площадке Алексей встретил Игоря Петровича, электромонтёра управляющей организации.

— У нас электричество пропало, — начал он.

— У вас везде или только в квартире?

— Только у нас.

— На кухне и в комнатах одинаково?

— Сейчас проверю.

Игорь Петрович попросил не включать все приборы сразу, отключил чайник и дрель, затем вернул автомат во включённое положение. Свет появился. Через минуту Алексей включил чайник, а затем пылесос. Автомат снова отключился.

Причина оказалась не в том, что «электростанция дала мало электричества». Два мощных прибора одновременно создали нагрузку, с которой не справилась конкретная квартирная группа. Электростанции и сеть продолжали работать, а защита отключила участок, чтобы проводка не перегрелась.

Этот эпизод полезен не только как бытовая история. Он показывает разницу между двумя вопросами.

«Откуда в принципе берётся электричество?» — ответ ведёт к генерации и энергосистеме.

«Почему сейчас погасла моя лампа?» — ответ может находиться на любом участке, от электростанции до конкретного автомата.

## **Генератор превращает первичную энергию в электрическую**

Электростанция не создаёт энергию из ничего. Она получает энергию в другой форме и преобразует её в электрическую. На тепловой станции химическая энергия топлива превращается в тепло, тепло — в движение турбины, а турбина приводит в действие генератор. На гидроэлектростанции турбину вращает поток воды. На атомной станции тепло выделяется при делении ядерного топлива, а дальше используется похожая паротурбинная схема. Ветровая установка получает энергию движения воздуха, солнечная — непосредственно преобразует свет в электрический ток.

Генератор — это устройство, которое создаёт электродвижущую силу за счёт движения проводников в магнитном поле. На крупных электростанциях это обычно вращающаяся машина, соединённая с турбиной. Турбина поставляет механическую мощность, генератор преобразует её в электрическую, а трансформаторы изменяют напряжение для дальнейшей передачи.

Отдельная квартира не «подключена к электростанции напрямую». В каждый момент её нагрузку покрывает совокупность генераторов, работающих в объединённой энергосистеме. Доля каждой станции меняется. Один блок может работать почти постоянно, другая станция подключается в часы максимального спроса, гидроагрегат быстро увеличивает отдачу, а солнечная генерация днём снижает нагрузку на другие источники.

## **Основные типы электростанций в российской системе**

### **Тепловые электростанции**

На тепловых электростанциях используют газ, уголь, мазут и другие виды топлива. В российской энергосистеме большую роль играют газовые станции: они распространены в районах с развитой газотранспортной инфраструктурой и могут обеспечивать значительные объёмы мощности. Угольные станции особенно важны там, где уголь доступен и его доставка экономически оправдана.

Тепловые станции различаются по назначению. Крупная конденсационная электростанция в основном производит электричество. Теплоэлектроцентраль вырабатывает электричество и одновременно отдаёт тепло в систему теплоснабжения города или промышленного предприятия. Поэтому зимой её работа связана не только с потреблением электричества, но и с отопительным графиком.

Сильная сторона тепловой генерации — управляемость.

Диспетчер может заранее дать команду увеличить или уменьшить нагрузку, хотя это не всегда происходит мгновенно: оборудованию нужно время, чтобы изменить режим, а некоторые блоки выгоднее держать в устойчивом диапазоне.

## **Гидроэлектростанции**

Гидроэлектростанция использует перепад высот и движение воды. Вода вращает турбину, турбина — генератор. Топливо в привычном смысле не сжигается, но режим станции зависит от состояния водохранилища, притока воды, сезонных ограничений и требований к её пропуску.

Гидрогенерация ценна не только объёмом выработки. Многие гидроагрегаты способны сравнительно быстро изменить мощность. Поэтому они помогают покрывать колебания нагрузки, если это позволяют водохозяйственные условия и режим работы энергосистемы.

Гидроэлектростанция не означает «бесплатное электричество». Строительство плотины и оборудования требует огромных затрат, меняет территорию и режим реки, а эксплуатация подчиняется не только интересам энергетики. В конкретный момент диспетчер учитывает состояние водохранилищ и ограничения всей системы.

## **Атомные электростанции**

Атомная электростанция получает тепло от ядерного топлива. Это тепло превращает воду в пар, пар вращает турбину, а турбина приводит в действие генератор. Электрическая часть процесса похожа на работу многих тепловых станций;

различается источник тепла.

Атомные энергоблоки рассчитаны на длительную стабильную работу и выдают большую мощность. Их обычно не используют для постоянных быстрых манёвров вслед за каждым изменением бытового спроса. Для системы они похожи на надёжный базовый источник, вокруг которого диспетчеры выстраивают остальные режимы.

Крупный энергоблок — не один «выключатель». Его остановка или ограничение мощности меняет баланс целого района. Поэтому плановые ремонты заранее включают в графики, а на случай непредвиденного снижения мощности система располагает резервами.

### **Ветровые и солнечные электростанции**

Ветровые электростанции преобразуют энергию воздушного потока, солнечные — энергию солнечного излучения. Их выработка зависит от погоды и времени суток. Солнечная станция производит больше энергии днём и меньше вечером, когда спрос во многих регионах, наоборот, растёт. Ветер может усилиться или ослабнуть независимо от бытового графика.

Такая генерация не становится «ненадёжной» автоматически. Система учитывает прогноз погоды, объединяет множество установок, использует другие станции и резерв мощности. Но чем больше переменной генерации подключено к сети, тем важнее точное прогнозирование, гибкая генерация, накопители и развитые связи между районами.

## **Небольшие электростанции и локальные источники**

Электричество могут вырабатывать промышленные предприятия, котельные с электрогенерирующим оборудованием, дизельные и газовые установки, небольшие солнечные станции и другие распределённые источники. Они особенно полезны в удалённых районах, на объектах, где требуется автономность, или в местах с недостаточной пропускной способностью внешней сети.

Для жителя многоквартирного дома наличие таких источников обычно незаметно. Он видит розетку, а не состав генерации. Но в масштабе системы принцип остаётся прежним: электрическая мощность должна быть произведена, доставлена и в тот же момент потреблена либо направлена в накопитель.

**Почему электричество нельзя просто «сложить на склад»**

**Елена однажды спросила:**

— Если вечером все включают свет и плиты, почему днём нельзя было выработать побольше и сохранить до вечера?

Вопрос звучит естественно. Но с большинством товаров электричество сравнивать трудно. Газ можно закачать в хранилище, уголь — привезти на склад, воду — накопить в водохранилище. Электричество тоже можно запасать, но обычно не в том же виде и не в таком масштабе, чтобы без ограничений покрывать суточный спрос целого региона.

**Энергию преобразуют в другие формы:  
аккумуляторы запасают её химически;**

гидроаккумулирующие станции используют избыток электричества, чтобы поднять воду выше, а затем возвращают энергию через турбины;

**в некоторых системах применяют запасённое тепло, водород и другие технологии;**

часть энергии можно сохранить в механическом виде, например в быстро вращающихся устройствах.

У каждого способа есть потери, стоимость, ограничения по мощности, времени работы и сроку службы. Большой аккумуляторный комплекс способен быстро отдать мощность, но его ёмкости может не хватить на длительный дефицит. Гидроаккумулирующая станция может работать часами, но требует подходящего рельефа и сложной инфраструктуры. Тепловой резерв доступен дольше, но станцию нельзя мгновенно разогнать от нуля до полной мощности.

**Поэтому электрическая система опирается не на один гигантский накопитель, а на сочетание решений:**

**часть станций работает постоянно;**

**часть меняет нагрузку вслед за графиком потребления;**

**часть находится в резерве;**

**соседние энергосистемы обмениваются мощностью;**

**потребители в некоторых ситуациях ограничивают**

**нагрузку;**

автоматика отключает повреждённые участки, чтобы авария не распространилась.

**Моментальный баланс: сколько взяли, столько и нужно дать**

Когда человек включает чайник, его квартира не «запрашивает электричество у ближайшей электростанции» отдельным звонком. Изменение нагрузки отражается в общем режиме сети. Генераторы и устройства регулирования подстраиваются так, чтобы частота и напряжение оставались в допустимых пределах.

В российской энергосистеме частота переменного тока номинально составляет 50 герц. Это не «скорость электронов», а частота периодического изменения электрических величин в сети. Если генераторы отдают меньше мощности, чем в данный момент забирают потребители, баланс нарушается: вращающиеся машины начинают замедляться, частота снижается. Если производства больше, чем потребления, частота стремится увеличиться.

Отклонение не означает, что сразу погаснет весь город. Система располагает автоматическими регуляторами и резервами. Но серьёзный дисбаланс опасен для генераторов, линий и оборудования, поэтому его не оставляют без реакции.

**Запрос на электричество меняется по часам**

У нагрузки есть узнаваемый суточный рисунок, хотя он

зависит от сезона, погоды, региона и состава потребителей.

## **Раннее утро**

Люди просыпаются, включают освещение, чайники, кофемашины, фены и водонагреватели. Начинают работать насосы, транспортные системы, офисы и предприятия. В многоквартирном доме утренний пик может быть замечен по одновременному использованию нескольких мощных приборов, но на уровне страны к нему добавляются промышленные и коммунальные нагрузки.

## **День**

Утром и днём увеличивается потребление на предприятиях, в торговых объектах, учреждениях и стройках. Летом к нагрузке добавляются системы охлаждения, зимой — отопительное оборудование там, где оно электрическое. В жилых квартирах часть людей отсутствует, поэтому бытовая нагрузка может быть ниже, чем утром или вечером.

## **Вечер**

Жители возвращаются домой. Включаются освещение, плиты, духовки, стиральные машины, компьютеры, телевизоры и водонагреватели. В холодную погоду растёт потребление отопительных устройств. Для многих регионов вечерний бытовой пик становится одним из наиболее напряжённых периодов суток.

## **Ночь**

Большинство бытовых приборов выключено, но сеть не «засыпает». Продолжают работать холодильники, насосы,

системы связи и водоснабжения, промышленность, транспортная инфраструктура, серверные и медицинские объекты. Некоторые производства идут круглосуточно. Ночная нагрузка меньше, но не исчезает.

Сезон меняет картину. В жару максимум может сместиться к дневным часам из-за кондиционирования и охлаждения. В мороз резко увеличиваются отопительные нагрузки, а утренний и вечерний пики становятся тяжелее. После сильного снегопада или ледяного дождя дополнительно возрастает риск повреждения линий, хотя сами погодные условия не «вызывают нехватку электричества» напрямую: они одновременно влияют на спрос, оборудование и доступ к объектам.

### **Кто следит за балансом**

За режимами энергосистемы работают диспетчерские центры и оперативный персонал сетевых и генерирующих организаций. В российской объединённой энергосистеме важную роль выполняет Системный оператор: он планирует режимы, даёт команды участникам, контролирует баланс и поддерживает устойчивость работы.

Диспетчер не наблюдает за каждой квартирой по отдельности. Он видит крупные узлы, линии, подстанции, электростанции и суммарные показатели нагрузки. Рост потребления в районе проявляется как изменение нагрузки подстанции или группы линий. Управление строится по уровням: общесистемные решения сочетаются с региональным и ло-

кальным управлением.

Работа диспетчера похожа не на ручное включение каждой лампы, а на постоянное управление движением в сложной сети. Нужно заранее знать, где вырастет нагрузка, какой энергоблок уйдёт в ремонт, сколько мощности доступно на соседней станции, выдержит ли линия дополнительный поток и что произойдёт при отключении одного элемента.

### **Скрытая причина спора Орловых**

Через неделю после переезда у Орловых возник новый конфликт. Елена купила мощный обогреватель, а Алексей отказался включать его одновременно с электрическим духовым шкафом.

— Мы же платим за электричество, — возразила Елена.  
— Почему я не могу пользоваться приборами, когда мне нужно?

— Потому что автомат отключится.

— Значит, дом плохо спроектирован?

— Или мы сами подключаем всё сразу.

Елена услышала в его словах обвинение. Ей показалось, что Алексей просто хочет сэкономить и перекладывает неудобства на неё. Алексей, в свою очередь, боялся не столько счёта за электричество, сколько перегрева старой линии: он видел потемневшую изоляцию в распределительной коробке и не был уверен, что прежние жильцы не делали самовольных подключений.

Игорь Петрович приехал проверить группу.

— Здесь две разные вещи, — сказал он. — Обогреватель действительно добавляет нагрузку. Но автомат отключает не потому, что «электростанция не справилась». Он защищает вашу линию. Сначала проверим соединения, сечение проводов и номиналы аппаратов. Потом решим, можно ли перераспределить нагрузку.

— А если у всего дома будет перегрузка? — спросила Елена.

— Тогда признаки будут другими. Не один автомат в вашей квартире, а проблема у нескольких квартир, на этаже или на вводе. Мне нужно не «у нас пропал свет», а точное описание: где погасло, какие автоматы отключились, что работало в этот момент.

Истинной причиной спора оказалась не только техника. Елена хотела предсказуемости и безопасности, Алексей — контроля над неизвестным риском. Фраза «сеть не выдерживает» скрывала несколько разных страхов: перегрев проводки, скачки напряжения, лишние расходы и непонимание зоны ответственности.

После проверки выяснилось, что обогреватель и духовка были подключены к одной группе, а автомат соответствовал допустимой нагрузке этой линии. Игорь Петрович рекомендовал не использовать их одновременно и отдельно осмотрел соединения. Для постоянной работы мощных приборов потребовалось бы не просто поставить автомат большего номинала, а проверить всю линию и возможность её реконструк-

ции.

Момент истины здесь простой: электроснабжение квартиры зависит от общей энергосистемы, но бытовая безопасность начинается с ближайшего участка — розетки, соединения, кабеля и аппарата защиты. Нельзя исправить перегруженную квартирную группу просьбой к электростанции «дать больше».

### **Что происходит, когда на крупном объекте меняется нагрузка**

Представим зимнее утро. В нескольких городах температура опустилась ниже обычной, люди одновременно включили отопительные приборы, предприятия начали смену, а на одной из крупных станций энергоблок оказался недоступен из-за неисправности.

Система не ждёт, пока дефицит проявится в квартирах. Заранее подготовлены разные виды резерва.

Резервом может быть мощность уже работающих агрегатов, которые способны увеличить отдачу. Может быть доступен агрегат, находящийся в горячем состоянии и готовый быстро включиться. Есть и более медленные ресурсы, которые вводят по плану. Отдельно применяются противоаварийные устройства и автоматика: они могут ограничить нагрузку или отключить часть потребителей, если иначе возникнет риск широкого нарушения режима.

Резерв не означает, что электричество «лишнее и простаивает без пользы». Система платит за готовность быстро за-

менить выпавший источник или подхватить неожиданный рост спроса. Без резерва энергосистема работала бы дешевле только до первой серьёзной неисправности.

**Для устойчивости важен не только запас мощности. Нужны также:**

**исправные линии и трансформаторы;  
достаточная пропускная способность между районами;**

**автоматика защиты и противоаварийного управления;**

**оперативный персонал;  
точные прогнозы нагрузки и погоды;  
плановые ремонты, не совпадающие с периодами максимального спроса;**

**возможность отделить повреждённый участок от остальной сети.**

Если одна линия отключилась, система должна либо передать поток по другим линиям, либо быстро снизить нагрузку на опасном направлении. Если этого не сделать, перегрузка может перейти на соседние элементы и вызвать цепное развитие аварии.

**Полевой справочник: что означает симптом**

Симптомы бытового отключения помогают определить масштаб проблемы. Они не заменяют измерений и работы специалиста, но позволяют правильно сообщить о неисправности.

## **Если погас свет только в одной комнате**

Вероятнее всего, отключилась квартирная группа, автомат или устройство защитного отключения. Сначала нужно посмотреть квартирный щиток, отключить приборы из розеток этой зоны и выяснить, не произошло ли срабатывание после подключения конкретного устройства.

Если автомат снова отключается сразу после включения, не следует многократно возвращать его в рабочее положение. Причиной может быть короткое замыкание, повреждённый прибор или неисправность проводки. Нужен электрик.

## **Если погасла вся квартира, а в подъезде и у соседей свет есть**

Проверьте вводной автомат и устройства защиты в квартирном щитке. Если аппарат отключился после одновременного включения нескольких мощных приборов, часть нагрузки нужно отключить. Если автомат не удаётся включить или он отключается без заметной нагрузки, требуется диагностика.

## **Если в квартире темно, но индикаторы на некоторых устройствах остаются гореть**

Это может указывать не на полное исчезновение питания, а на проблему отдельной группы, плохой контакт, неисправность нулевого проводника или другой опасный дефект. Нельзя делать вывод по одному светильнику. При мерцании, запахе нагрева, треске или нагреве щита питание отключают, если это можно сделать безопасно, и вызывают специалиста.

## **Если погасли квартира, подъезд и несколько соседних домов**

Масштаб указывает на внешний участок: домовой ввод, трансформаторную подстанцию, линию или более крупный сетевой объект. Нужно проверить сообщения управляющей организации и аварийных служб, сообщить адрес и признаки отключения. Самостоятельно открывать этажные щиты и подстанции или пытаться восстановить питание нельзя.

## **Если электричество пропало сразу во всём районе**

Вероятна авария или плановое отключение на более высоком уровне. В этой ситуации квартирный автомат обычно не является причиной. При этом опасно включать все приборы одновременно сразу после восстановления: сначала лучше убедиться, что питание стабильно, а мощные устройства запускать по очереди.

## **Если при включении мощного прибора свет заметно тускнеет**

Однократное небольшое изменение может быть связано с особенностями сети, но регулярное сильное проседание, мигание освещения, гул или нагрев розетки требуют проверки. Не нужно маскировать симптом установкой автомата большего номинала. Автомат защищает проводку от сверхтока, а не исправляет плохой контакт, слабую линию или нарушение в соединении.

## **Если электричество есть, но техника работает необычно**

Неисправность может быть локальной: повреждённый удлинитель, контакт, розетка или блок питания прибора. Но если одновременно странно ведут себя разные устройства, мигают светильники и меняется яркость, нужно прекратить использование мощной техники и обратиться к управляющей организации или электрику. Сеть нельзя диагностировать по тому, что «холодильник пока продолжает работать».

### **Алгоритм «если — то» для определения масштаба**

Если отключилось одно помещение, а остальные работают, начните с ближайшего квартирного автомата и подключённых приборов.

Если отключилась вся квартира, а общедомовые помещения освещены, проверьте вводную защиту и не включайте мощную нагрузку до выяснения причины.

Если отключились несколько квартир на этаже или в подъезде, сообщите в управляющую организацию: неисправность может быть на этажном щите, стояке или вводе.

Если отключился весь дом, обратитесь в аварийную службу дома и сетевую организацию по принятому в регионе каналу, не вмешиваясь в оборудование.

Если отключены несколько домов или район, зафиксируйте время начала и масштаб, следите за официальными сообщениями и не пытайтесь искать проблему в квартирной проводке.

Если питание восстановилось после внешнего отключения, включайте приборы постепенно и наблюдайте за освещением.

щением, запахом нагрева и работой защиты.

**Как сообщать о проблеме, чтобы не терять время**

Игорь Петрович получает десятки сообщений. Фраза «у нас скачет электричество» мало помогает: она может означать мигание лампы, отключение автомата, шум в розетке или полное исчезновение напряжения.

**Хорошее сообщение содержит пять элементов:**

**адрес и номер квартиры;**

**время начала проблемы;**

**масштаб: одна комната, вся квартира, подъезд, дом или несколько домов;**

**состояние щитка: какой аппарат отключился, удаётся ли его включить;**

**что работало непосредственно перед неисправностью.**

Например: «В квартире 47 с 19:20 нет питания во всех комнатах, на площадке свет есть, вводной автомат отключился после включения духовки и обогревателя, после повторного включения он снова отключается». Такое описание сразу задаёт направление проверки.

Если проблема внешняя: «С 19:20 нет света в подъезде и в квартирах первого и второго этажей, у соседнего дома освещение есть, на лестнице слышен запах нагрева у этажного щита». Последняя деталь особенно важна: при запахе горелой изоляции к щиту не приближаются и не пытаются открыть его самостоятельно.

**Путь энергии в день переезда Орловых**

Рано утром, когда Орловы ещё грузили коробки, на электростанциях уже работали энергоблоки, выбранные под ночную и утреннюю нагрузку. В квартире потребление было небольшим: холодильник поддерживал температуру, роутер и зарядные устройства почти незаметно брали мощность, в комнатах горел один светильник.

Около восьми часов город начал просыпаться. На предприятиях запустилось оборудование, в офисах включились компьютеры и освещение, в домах заработали чайники и водонагреватели. Диспетчерские центры видели не квартиру Орловых, а суммарный рост нагрузки в узлах сети. Часть генераторов увеличивала мощность, часть уже работала в рассчитанном режиме.

К десяти часам Алексей подключил перфоратор, пылесос и электрический лобзик. Елена включила стиральную машину. Каждый прибор получал энергию через внутриквартирную группу, квартирный щиток, этажный щит, ввод дома, трансформаторную подстанцию, распределительные сети и более высокие уровни передачи. На всех этих участках действовали свои ограничения по току, мощности и нагреву.

В полдень часть бытовой нагрузки снизилась, но выросла дневная нагрузка организаций и предприятий. Если в этот день светило солнце и работали солнечные станции, их выработка частично покрывала дневной спрос. Если усиливался ветер, увеличивался вклад ветровой генерации. При этом диспетчеры учитывали прогноз и держали другие источники

готовыми к изменению режима.

К вечеру переезд закончился. Орловы включили освещение, духовку, чайник и обогреватель. Тысячи других семей сделали примерно то же самое. На уровне системы вечерний рост спроса был ожидаемым, поэтому станции заранее подготовили мощности. Но конкретная квартирная группа Орловых оказалась перегружена раньше, чем общая энергосистема приблизилась к пределу. Автомат отключил её, и это было правильным действием защиты.

После восстановления питания Алексей распределил приборы по группам, а Игорь Петрович проверил соединения. Елена составила список устройств с высокой мощностью и перестала подключать их через один удлинитель. Их бытовая проблема решалась не поиском «слабой электростанции», а наведением порядка на ближайшем участке сети.

Вечером они обсудили и другой случай: если бы света не было во всём подъезде, нужно было бы звонить не электрику по объявлению, а в управляющую организацию или аварийную службу. Если бы погасли соседние дома, искать причину в квартире было бы бессмысленно. Масштаб симптома изменяет маршрут действий.

### **Чек-лист перед включением нескольких мощных приборов**

Посмотрите, к какой группе подключён прибор и не подключены ли к ней уже чайник, обогреватель, стиральная машина или духовка.

Проверьте, не нагреваются ли розетка, вилка, удлинитель и автомат.

Не используйте удлинитель как постоянную замену отдельной линии для мощного оборудования.

Не заменяйте автомат на аппарат большего номинала без проверки кабеля, соединений и всей линии.

Если защита отключилась, сначала уберите нагрузку, а не пытайтесь включать автомат снова и снова.

Если есть запах горелой изоляции, треск, дым, оплавление или сильный нагрев, прекратите эксплуатацию и вызовите специалиста.

После внешнего отключения включайте мощные приборы по очереди, чтобы сразу заметить повторное нарушение.

**Новый баланс: система не обещает отсутствия сбоев**

Энергосистема не является бесконечным источником, к которому можно подключить любое количество приборов. Её устойчивость строится на балансе генерации и потребления, запасе мощности, исправности сетей и автоматики, а также на действиях персонала. При этом домашняя сеть тоже имеет собственный баланс: распределение нагрузки между группами, допустимый ток проводников, состояние соединений и работа защиты.

Человек в квартире не управляет электростанциями, но может правильно распознать масштаб проблемы. Он понимает, когда достаточно отключить приборы и проверить ши-

ток, когда нужно сообщить в управляющую организацию, а когда проблема относится к районной сети. Такой ориентир экономит время и снижает риск опасных действий.

Для Орловых электричество перестало быть безликим ресурсом «из розетки». За каждым включением стояла цепочка преобразований и решений: станция выработала мощность, сеть передала её, диспетчер удержал баланс, трансформаторы изменили уровень напряжения, домовой ввод принял поток, квартирная группа доставила его к прибору. А защита остановила процесс там, где продолжение стало бы опасным.

В следующей главе один участок этой цепочки потребует отдельного внимания. Генераторы производят электричество при одном уровне напряжения, а передавать его на большие расстояния напрямую невыгодно и технически сложно. Поэтому сразу после генерации напряжение повышают — именно это позволяет уменьшить ток в линиях, снизить потери и доставить энергию дальше.

# Почему напряжение сначала повышают

Когда в квартире Орловых погас свет, Елена первым делом посмотрела на автомат в щитке. Он не отключился. В соседнем окне тоже было темно, лестничная площадка не освещалась, а лифт остановился между этажами. Алексей позвонил в управляющую организацию:

— У нас пропало напряжение во всём доме.

**Игорь Петрович, электромонтёр, уточнил:**

— Только в доме или на улице тоже? Работает ли освещение во дворе? Есть ли электричество в соседних домах?

Эти вопросы кажутся бытовыми, но за ними скрывается карта всей энергосистемы. Чем больше участок, на котором исчезло питание, тем дальше от квартиры, скорее всего, находится причина. Чтобы понять, почему авария на линии может оставить без света целый район, а неисправность в розетке — только одну комнату, нужно разобраться в масштабе передачи энергии.

До этого мы проследили путь от розетки к источнику, поделили движение электрического поля и заряда от образа «электронов, текущих по трубе», а также увидели, как генерация и потребление связаны непрерывным балансом. Теперь разберём участок, на котором электричество проходит

самый большой путь, — от электростанции к крупным узлам сети. Главный вопрос здесь прост: почему энергию не передают сразу под тем напряжением, которое нужно квартире?

### **Цена низкого напряжения**

Представим, что электростанции нужно передать в другой район мощность 100 мегаватт. Это не фантастическая цифра: такой порядок может соответствовать нагрузке крупного промышленного узла, нескольких городских районов или группы предприятий.

**Мощность показывает, сколько энергии передаётся за единицу времени. Для упрощённого расчёта воспользуемся связью:**

$$P = U \times I,$$

где  $P$  — мощность,  $U$  — напряжение,  $I$  — ток.

Если передавать 100 мегаватт при напряжении 100 киловольт, ток составит примерно 1000 ампер. Если ту же мощность передавать при 500 киловольтах, ток будет около 200 ампер. Напряжение выросло в пять раз, а ток при той же мощности уменьшился в пять раз.

Именно это изменение решает главную проблему дальней передачи. У любого реального проводника есть сопротивление. Когда по нему проходит ток, часть энергии превращается в тепло. Потери на участке линии можно оценить формулой:

$$P_{\text{потерь}} = I^2 \times R,$$

где  $R$  — сопротивление линии.

Квадрат тока здесь имеет решающее значение. Если уменьшить ток в пять раз, тепловые потери при том же сопротивлении провода сократятся в 25 раз. Поэтому перед дальней передачей напряжение повышают: так можно уменьшить ток, снизить нагрев проводов и сократить потери энергии.

Высокое напряжение не создаёт энергию из ничего и не делает передачу бесплатной. Оно лишь меняет соотношение между напряжением и током. В идеализированном трансформаторе мощность на входе почти равна мощности на выходе, если не учитывать потери. Повышая напряжение, мы получаем меньший ток. Понижая напряжение, получаем больший ток — зато на уровне, пригодном для потребителей.

Здесь часто возникает бытовая фраза: «Напряжение разгоняет электричество». Как очень грубый образ она допустима, но быстро начинает мешать. Напряжение не заменяет мощность, не отменяет сопротивление и не означает, что по проводу обязательно передаётся больше энергии. Для передачи одной и той же мощности повышение напряжения позволяет передавать меньший ток.

### **Проверка реальности: одна и та же мощность**

Возьмём мысленный пример с мощностью 10 киловатт. Это может быть суммарная нагрузка небольшой группы оборудования, но не обязательно одного прибора.

При напряжении 1000 вольт ток составит около 10 ампер.

При напряжении 100 вольт ток будет около 100 ампер.

Сопротивление линии оставим прежним. Во втором случае ток в десять раз больше, а тепловые потери — примерно в сто раз выше. Такой расчёт не учитывает всех особенностей реальной сети, но точно показывает направление зависимости.

Частая ошибка — сравнивать только напряжение и забывать о мощности. Нельзя сказать: «При высоком напряжении потери исчезают». Нельзя и утверждать, что «большое напряжение само по себе означает большие потери». Нужно учитывать конкретный участок, его сопротивление, передаваемую мощность, ток, длину линии и режим работы.

### **Упражнение 1. Найдите причину повышения напряжения**

Возьмите любой пример передачи мощности и выполните три шага.

1. Запишите мощность, которую нужно передать.
2. Сравните ток при двух разных напряжениях.
3. Сопоставьте потери, учитывая зависимость от квадрата тока.

Например, нужно передать 2 мегаватта по линии с условным сопротивлением 1 ом.

При 20 киловольтах ток равен примерно 100 амперам. Потери составят около 10 киловатт.

При 100 киловольтах ток равен примерно 20 амперам. Потери составят около 0,4 киловатта.

Значения учебные, но соотношение показательно: при пятикратном повышении напряжения ток уменьшается в пять раз, а расчётные потери — в 25 раз.

Типичная ошибка в этом упражнении — решить, будто сопротивление провода тоже автоматически уменьшается при повышении напряжения. Оно никуда не исчезает. Мы просто уменьшаем ток, проходящий по тому же участку, и благодаря этому снижаем нагрев.

Другая ошибка — забыть, что в настоящей сети потери возникают не только в проводах. Энергия теряется в трансформаторах, соединениях, выключателях и другом оборудовании. Высокое напряжение уменьшает один из главных видов потерь, но не отменяет необходимости проектировать, обслуживать и защищать всю систему.

**Трансформатор меняет уровень, а не направление энергии**

Повысить или понизить напряжение без соответствующего оборудования нельзя. В цепях переменного тока эту задачу выполняет трансформатор.

В простейшем представлении трансформатор состоит из магнитопровода и двух обмоток. Переменный ток в одной обмотке создаёт изменяющееся магнитное поле, которое индуцирует напряжение во второй. Соотношение напряжений связано с числом витков: в обмотке с большим числом витков напряжение выше, в обмотке с меньшим — ниже.

Если на вход подать относительно низкое напряжение, а

во вторичной обмотке сделать больше витков, трансформатор повысит напряжение. Если витков будет меньше, напряжение понизится.

Но трансформатор не является генератором. Он не производит дополнительную мощность. При повышении напряжения доступный ток уменьшается, а при понижении может стать больше. В реальном устройстве часть энергии теряется на нагрев обмоток, вихревые токи и другие процессы, поэтому мощность на выходе немного ниже мощности на входе.

Именно так меняется масштаб электроэнергии на пути к дому.

Генератор электростанции вырабатывает электричество на определённом уровне напряжения. Затем повышающий трансформатор увеличивает его до уровня, подходящего для передачи по магистральной сети. Дальше на крупных подстанциях напряжение понижают для следующего участка. Перед городскими районами его могут снизить до распределительного уровня — например, 6 или 10 киловольт. В трансформаторной подстанции рядом с домами напряжение понижается до низкого: обычно до 0,4 киловольт между фазами. В бытовой сети между фазой и рабочим нулём номинально получается около 230 вольт.

В российской системе встречаются разные классы напряжения: 110, 220, 330, 500 киловольт и выше в магистральной части, 6, 10 или 20 киловольт в распределительной сети, а также низкое напряжение 0,4 киловольт для питания зда-

ний и отдельных потребителей. Конкретная схема зависит от региона, возраста сети, плотности застройки, мощности нагрузки и принятой системы электроснабжения.

Эти цифры не означают, что на каждом участке обязательно используется один и тот же набор уровней. Электрическая сеть не похожа на единственную лестницу с одинаковыми ступенями. В одном городе дом может получать питание от подстанции 110/10 кВ, а затем от трансформатора 10/0,4 кВ. В другом месте между этими уровнями появятся дополнительные узлы. На крупных промышленных объектах могут использоваться собственные подстанции и другие уровни напряжения.

### **Почему в квартире не оставляют высокое напряжение**

Ответ связан не только с безопасностью, хотя она играет ключевую роль. Оборудование квартиры, дома и большинства бытовых приборов рассчитано на низковольтную распределительную сеть. Изоляция, розетки, выключатели, автоматические выключатели, кабели и схемы защиты проектируются под конкретный уровень напряжения.

Нельзя взять провод от воздушной линии высокого напряжения, завести его в дом и «поставить мощный автомат». Автомат защищает провод и цепь от определённых токов, но не превращает опасное напряжение в безопасное и не заменяет изоляцию. Для каждого уровня напряжения нужны соответствующие расстояния, изоляция, коммутационная ап-

паратура, заземление, защита от перенапряжений и правила эксплуатации.

Елена однажды спросила у Игоря Петровича, почему электричество нельзя доставлять в дом на 10 киловольт, а уже в квартирном щитке снижать его до 230 вольт.

— Технически понижение можно выполнить ближе к потребителю, — ответил он. — Но тогда внутри района пришлось бы прокладывать высоковольтные линии, устанавливать сложное оборудование и обеспечивать большие безопасные расстояния. Проще и безопаснее понизить напряжение в трансформаторной подстанции, а по домам распределять уже низкое.

Это не означает, что трансформатор всегда стоит непосредственно у каждого дома. Он может обслуживать несколько зданий, квартал или отдельный объект. В плотной городской застройке оборудование часто размещают в закрытых подстанциях, иногда внутри зданий. В частном секторе или на окраине трансформаторная подстанция может быть отдельным сооружением или комплектной установкой.

## **Упражнение 2. Проследите четыре превращения**

**Нарисуйте на листе горизонтальную цепочку из пяти узлов:**

электростанция — повышающий трансформатор — магистральная подстанция — распределительная подстанция — дом.

Под каждым узлом подпишите, что происходит с напря-

жением, током и назначением участка.

У электростанции напряжение создаётся генератором.

После повышающего трансформатора напряжение увеличивается, а ток при той же передаваемой мощности уменьшается.

На магистральной подстанции меняется схема сети и часто понижается напряжение для следующего уровня передачи.

На распределительной подстанции напряжение снижается до уровня, подходящего для районных сетей.

В трансформаторной подстанции рядом с домом оно понижается до низкого уровня, с которым можно вводить питание в здания.

При выполнении упражнения не подменяйте подстанцию трансформатором. Трансформатор меняет уровень напряжения. Подстанция — это комплекс оборудования, куда могут входить трансформаторы, выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы, устройства защиты, автоматика, шины и системы управления. Подстанция не всегда только «повышает» или «понижает» напряжение. Она соединяет и разделяет линии, переключает режимы, отключает повреждённые участки и контролирует параметры сети.

### **Магистральная сеть: дальняя передача**

После повышения напряжения энергия попадает в сеть, которая соединяет крупные узлы энергосистемы. Такие линии передают большие мощности на значительные расстоя-

ния. Их задача — не подать питание в конкретную розетку, а связать электростанции, крупные подстанции, промышленные районы и региональные центры.

Магистральные линии могут образовывать кольца и другие резервированные схемы. Если один участок отключён, нагрузку иногда удаётся перераспределить по другому маршруту. Но резервирование не означает полной неуязвимости. При серьёзном повреждении, перегрузке нескольких линий, неблагоприятной погоде или каскадном развитии аварии отключения могут затронуть большой район.

На опорах воздушных линий видны провода, подвесная изоляция, грозозащитные тросы и элементы арматуры. Провода расположены на значительной высоте и на расстоянии друг от друга. Чем выше напряжение, тем строже требования к изоляции, расстояниям и охранным зонам. Даже если провод не касается земли, приближаться к нему опасно: при высоком напряжении электрический разряд может возникнуть через воздушный промежуток.

Воздушная линия дешевле и удобнее для осмотра на длинных открытых трассах, но зависит от ветра, гололёда, мокрого снега, падения деревьев, пожаров и повреждения опор. Обрыв провода не всегда сопровождается мгновенным взрывом или яркой дугой. Провод может оказаться на земле или повиснуть так, что опасность будет трудно заметить.

Кабельная линия прокладывается в земле, кабельных сооружениях или специальных каналах. Она защищена от пря-

мого воздействия ветра и падающих деревьев, меньше влияет на внешний вид города, но это не делает её неуязвимой. Кабель могут повредить при земляных работах, затоплении, перегреве, нарушении изоляции или ошибке при монтаже. Найти место повреждения под землёй сложнее, а ремонт часто требует вскрытия покрытия и специального оборудования.

Выбор между воздушным и кабельным исполнением зависит от напряжения, длины трассы, плотности застройки, стоимости, требований к надёжности, условий окружающей среды и возможностей размещения. Нельзя свести различие к формуле «воздушная линия плохая, кабельная хорошая». У каждой конструкции свои режимы работы, способы диагностики и типичные отказы.

### **Распределительная сеть: путь к кварталу**

После дальнего участка энергия приближается к потребителям. На подстанции высокого или среднего уровня напряжение понижается, и электричество уходит по распределительным линиям. Эти линии питают районы, улицы, предприятия, социальные объекты и многоквартирные дома.

Распределительная сеть обычно работает с меньшими расстояниями и мощностями, чем магистральная, но именно она ближе всего к повседневной жизни. Авария на распределительной линии может погасить несколько домов или целый квартал. Повреждение кабеля, отказ выключателя, перегрузка трансформатора или неполадка на районной подстан-

ции проявляются для жителей как массовое отключение.

У дома электричество проходит ещё несколько границ. От районной сети оно поступает на трансформаторную подстанцию, где напряжение понижается до низкого. Оттуда кабель или воздушная линия идёт к вводу устройству здания. В многоквартирном доме питание распределяется по стоякам, этажным щитам, квартирным вводам и группам.

Одна и та же жалоба — «пропал свет» — может означать совершенно разные уровни отказа.

Если погасла одна лампа, вероятен отказ лампы, патрона, выключателя или контакта.

Если отключилась одна группа розеток и сработал автомат, искать нужно в квартирной цепи или подключённых приборах.

Если обесточена вся квартира, но на лестничной площадке есть свет, возможны проблемы с квартирным вводом, вводным автоматом, контактом или фазой.

Если погасли этаж или подъезд, вероятны неполадки на общем щите, стояке или этажной линии.

Если темно во всём доме, причина может находиться во вводе здания, общей линии или районной подстанции.

Если одновременно отключились соседние дома и уличное освещение, вероятен внешний участок распределительной сети.

Если свет исчез в нескольких районах, нужно рассматривать более крупный сетевой узел или системное событие.

Это не готовый диагноз, а способ определить масштаб и правильно передать информацию тем, кто будет искать неисправность.

### **Полевой алгоритм при отключении**

Когда электричество исчезло, не нужно сразу выходить к щитовой и тем более приближаться к оборванному проводу. Сначала зафиксируйте признаки.

1. Проверьте, что именно отключилось.

Посмотрите, работают ли светильники в других комнатах, розетки, холодильник, роутер и домофон. Если это можно сделать безопасно, проверьте освещение на лестничной площадке. Не открывайте электрощит и не касайтесь оборудования.

2. Посмотрите на квартирный щиток.

Если сработал автомат или устройство защитного отключения, не включайте его многократно. Отключите от розеток мощные и подозрительные приборы, а затем действуйте по правилам для квартирной сети. Если автомат сразу отключается снова, нужно искать причину, а не повторять включение.

3. Сравните ситуацию с соседями.

Спросите жильцов на вашем этаже или в соседнем подъезде. Уточните не только, «есть ли свет», но и где именно его нет: в квартире, подъезде, доме, дворе или соседних зданиях.

4. Ищите официальное сообщение.

Информацию об аварийных работах можно получить

через диспетчерскую управляющей организации, аварийно-диспетчерскую службу, ресурсоснабжающую или сетевую организацию, если её контакты указаны в документах и платёжных квитанциях. При обращении назовите адрес, подъезд, этаж, время отключения и масштаб проблемы.

#### 5. Опишите симптомы точно.

Фраза «у нас пропало электричество» менее полезна, чем сообщение: «С 18:40 нет питания во всей квартире, автомат не отключался, на лестничной площадке темно, в соседнем доме свет есть». Такие сведения сокращают время первичной локализации.

#### 6. Не пытайтесь самостоятельно проверять внешнюю линию.

Оборванный провод, искрение на опоре, дым из подстанции, запах горелой изоляции и открытая дверь электроустановки — повод отойти на безопасное расстояние и сообщить в аварийную службу. Нельзя приближаться к проводу, оттащить его палкой, поливать место водой или проверять наличие напряжения бытовым прибором.

Этот алгоритм не заменяет работу электромонтёра. Его задача — отличить бытовую проблему от массовой аварии, сохранить безопасность и передать диспетчеру полезные признаки.

### **Что происходит при повреждении линии**

Энергосистема постоянно отслеживает токи и напряжения. На линиях и подстанциях работают устройства релей-

ной защиты и автоматики. При коротком замыкании резко возрастает ток, меняются напряжение и другие параметры. Защита должна распознать опасный режим и отключить повреждённый участок прежде, чем ток успеет серьёзно повредить оборудование.

Обычно процесс выглядит так.

На линии возникает повреждение: например, провод касается земли, ветка сближает фазы, повреждается кабельная изоляция или выходит из строя оборудование на подстанции.

Измерительные устройства передают данные защите.

Выключатель отключает участок. При этом гаснет не вся энергосистема, а только та часть, которую нужно отделить, чтобы сохранить остальную сеть.

Автоматика может выполнить повторное включение, если повреждение было кратковременным. Такое бывает, например, при кратком перекрытии изоляции, когда причина исчезла после отключения. Если повреждение сохранилось, линия снова отключается или остаётся обесточенной до осмотра.

Диспетчер и оперативный персонал определяют границы повреждения, проверяют оборудование и выбирают схему восстановления питания.

Часть потребителей может получить питание по резервному маршруту. Другие останутся отключёнными до ремонта, если безопасного обходного пути нет или резервная ли-

ния не выдержит нагрузку.

Повторное включение не означает, что к проводу можно подходить. На линии может сохраняться повреждение, а автоматическое включение способно произойти неожиданно. Любой оборванный провод следует считать находящимся под напряжением.

Главное различие между автоматом в квартире и защитой на подстанции — масштаб и задача. Квартирный автомат защищает конкретную линию и её проводники от перегрузки и короткого замыкания. Устройство на подстанции защищает участок распределительной или магистральной сети, а также дорогостоящее оборудование. Защиты согласуют между собой: по возможности первым отключается устройство, ближайшее к месту повреждения, чтобы ограничить зону аварии.

Согласование не всегда идеально. Если неисправен выключатель, повреждение может отключить более крупный участок. Если повреждений несколько, нарушена схема резервирования или нагрузка слишком велика, масштаб отключения увеличивается. Поэтому срабатывание защиты на подстанции может проявиться для жителей темнотой в нескольких домах, хотя сама причина находится в одном месте.

### **Кейс Орловых: от квартиры до линии**

Через месяц после переезда у Орловых снова погас свет. На этот раз в квартире работал холодильник, но не включа-

лись розетки в одной комнате. На лестничной площадке свет был. Алексей уже потянулся к вводному автомату, но Елена остановила его:

— Сначала проверим, что именно отключилось.

Оказалось, что не работали две розетки у рабочего стола. В щитке один групповой автомат находился в нижнем положении. После отключения удлинителя и зарядных устройств автомат включился и больше не отключался. Причина оказалась в повреждённом блоке питания, а не во внешней сети.

Через несколько недель ситуация была другой. Вечером погас весь дом, а во дворе не работали фонари. Игорь Петрович получил от жильцов десятки сообщений: «В квартире скачет напряжение», «в подъезде авария», «наверное, сгорел трансформатор». Он попросил всех уточнить время, границы отключения и наличие света в соседних домах. По данным диспетчерской, отключилась районная кабельная линия. Защита сработала, чтобы не пропустить повреждение дальше по сети. После переключения части домов на резерв питание восстановили, а один участок оставили отключённым до поиска места повреждения.

Третий случай произошёл зимой. В соседнем районе несколько улиц остались без электричества после падения дерева на воздушную линию. В квартире Орловых свет продолжал работать: их дом питался от другой ветви распределительной сети. Алексей впервые увидел практический смысл резервирования. Линии не просто тянутся от подстан-

ции к потребителю одной прямой; сеть строится так, чтобы при определённых отказах сохранить питание хотя бы для части нагрузки.

Критерий успеха здесь не в том, чтобы угадать конкретную неисправность по одному симптому. Житель не обязан отличать пробой кабеля от отказа выключателя на подстанции. Его задача скромнее и полезнее: определить масштаб, не подвергать себя риску, не мешать восстановлению и передать точные сведения.

### **Три проверки, которые исправляют типичные заблуждения**

Первая проверка: «Чем выше напряжение, тем больше потери».

Неверно. При передаче одинаковой мощности повышение напряжения уменьшает ток, а потери в сопротивлении линии зависят от квадрата тока. Но высокое напряжение требует дорогой изоляции, специальных опор, коммутационной аппаратуры и защиты. Поэтому проектировщики ищут не максимально возможное напряжение, а подходящий уровень для конкретной длины, мощности и схемы сети.

Вторая проверка: «Подстанция — это большой трансформатор».

Неверно. Трансформатор может быть главным элементом подстанции, но сама подстанция включает также аппараты переключения, защиты, измерения и управления. Она может направлять потоки мощности по разным линиям, отключать

повреждённый участок и менять схему сети. На некоторых подстанциях трансформатора вообще может не быть, если узел выполняет преимущественно функции распределения и коммутации.

Третья проверка: «Если линия спрятана под землёй, аварий быть не может».

Неверно. Кабель защищён от части внешних воздействий, но остаётся уязвимым для земляных работ, воды, перегрева, дефектов изоляции и старения. Воздушную линию проще осматривать визуально, зато она сильнее зависит от погоды и состояния просеки. Надёжность определяется не только типом линии, но и качеством проектирования, обслуживания, резервирования и защиты.

Четвёртая проверка: «При отключении внешней сети достаточно включить квартирный автомат».

Неверно. Если питания нет на вводе здания, квартирный автомат его не создаст. Многократные попытки включения могут быть опасны при неисправности в квартире или повреждённом вводном оборудовании. Сначала нужно определить, где заканчивается зона отключения.

### **Упражнение 3. Определите масштаб по симптомам**

Разберите четыре ситуации и для каждой назовите наиболее вероятный уровень поиска.

Ситуация первая: не работает одна розетка, остальные работают, автомат группы отключён.

Искать нужно в розетке, подключённом приборе, провод-

ке группы или её защитном аппарате. Проверять внешнюю сеть первым шагом бессмысленно.

Ситуация вторая: во всей квартире темно, но в подъезде и соседних квартирах есть свет.

Вероятен участок квартирного ввода, вводной аппарат, контакт или квартирная линия. Самостоятельно вскрывать пломбы и общий щит нельзя; следует обратиться в управляющую организацию или аварийную службу — в зависимости от границы ответственности.

Ситуация третья: темно в доме, не работает лифт, но соседний дом освещён.

Вероятны ввод здания, общая линия или оборудование, питающее дом. В заявке нужно указать, что отключён именно весь дом.

Ситуация четвёртая: одновременно погасли несколько домов и уличное освещение, на улице слышен хлопок, возле опоры виден провод.

Вероятен внешний участок распределительной сети. Подходить к проводу нельзя. Нужно отойти, предупредить людей, не допускать приближения детей и животных и сообщить в аварийные службы.

Главная ошибка в этом упражнении — объявлять точную причину там, где доступны только симптомы. Правильный ответ обычно звучит так: «По масштабу вероятен такой участок, но точное место персонал определит после измерений и осмотра». Диагностика начинается с границ, а не с уверен-

ного названия неисправной детали.

## **Как напряжение возвращается к квартире**

Теперь путь энергии можно собрать без бытовых подмен.

На электростанции генератор вырабатывает переменный ток. Повышающий трансформатор увеличивает напряжение, чтобы при передаче заданной мощности уменьшить ток и тепловые потери в линии.

Магистральная сеть переносит большие мощности между крупными узлами. Её напряжение выбирается с учётом дальности передачи и величины нагрузки. На подстанциях линии переключаются, защищаются и соединяются с другими направлениями. Там же напряжение может понижаться до уровня следующего участка.

Распределительная сеть доставляет энергию к районам и отдельным крупным потребителям. На трансформаторной подстанции напряжение понижается до низкого уровня. Оттуда питание поступает во ввод здания, затем в общедомовую сеть, квартирные щиты и группы.

Каждый переход между масштабами сопровождается защитой. На дальней линии защищают саму линию и узлы энергосистемы. В распределительной сети ограничивают последствия повреждения кабеля или воздушного участка. В здании защищают ввод, стояки, квартирные линии и подключённые приборы.

Высокое напряжение — не «более сильное электричество» в бытовом смысле. Это рабочий уровень передачи, ко-

торый позволяет доставлять большую мощность с меньшим током. Низкое напряжение в квартире — результат нескольких понижений и преобразований, выполненных оборудованием, рассчитанным на соответствующий режим.

### **Критерии правильного понимания**

Вы разобрались с темой, если можете без формул объяснить четыре вещи.

Первое: напряжение повышают перед дальней передачей, чтобы при той же мощности уменьшить ток и снизить потери на сопротивлении линии.

Второе: трансформатор меняет соотношение напряжения и тока, но не создаёт дополнительную энергию; его выходная мощность немного меньше входной из-за потерь.

Третье: магистральная сеть, распределительная сеть, подстанция и внутридомовая линия выполняют разные задачи и не являются взаимозаменяемыми названиями.

Четвёртое: масштаб отключения помогает определить участок поиска, но не даёт права самостоятельно приближаться к внешним электроустановкам или ставить точный диагноз без измерений.

Елена теперь описывает отключение иначе. Она не говорит: «Где-то пропал свет». Она сообщает: «С 21:10 обесточена вся квартира, в подъезде свет есть, автомат в щитке не отключался». Алексей, увидев тёмный двор, не идёт к трансформаторной будке, а проверяет границы отключения и звонит диспетчеру. Игорь Петрович получает сведения, с кото-

рыми можно начать работу, а не тратить время на расшифровку общей тревоги.

Путь энергии на этом не заканчивается. Мы увидели, что подстанция одновременно меняет напряжение, переключает направления и защищает оборудование. Следующий шаг — рассмотреть её изнутри: какие узлы в ней работают, как энергия проходит через них и почему один и тот же объект может быть частью магистральной, распределительной или локальной схемы.

# Подстанция: узел, где меняется масштаб

Алексей Орлов уже научился смотреть на электроснабжение не как на невидимую услугу из розетки, а как на цепочку узлов. Он понимал, зачем на электростанции повышают напряжение, почему нельзя бездумно увеличивать ток и отчего неисправность нужно искать по масштабу симптомов. Теперь предстояло разобраться с местом, где энергия меняет рабочий режим перед тем, как попасть в районную сеть, — с подстанцией.

Для жилья подстанция обычно существует в двух образах. Первый — небольшое ограждённое сооружение возле дома, над которым гудят провода и висит предупреждающая табличка. Второй — загадочный объект, который «виноват во всём», если свет одновременно погас в нескольких подъездах. Между этими представлениями большая разница. Подстанция не просто понижает напряжение. Она разделяет сеть на участки, подключает и отключает линии, отслеживает аварийные режимы и ограничивает последствия неисправностей.

## Миф о едином рубильнике

Однажды вечером в доме Орловых одновременно погасли светильники в коридоре, телевизор и роутер. На лестничной

площадке стало темно, а из окон соседнего дома напротив свет не исчез. Через несколько минут в общем чате появилась первая версия:

«Наверное, авария на подстанции. Если она одна на район, значит, без света сейчас полквартала».

**Почти сразу возникло возражение:**

«Нет, это только наш дом. У меня в соседнем подъезде тоже всё погасло».

Жильцы начали проверять окна. В одном доме напротив свет был, в другом — нет. На улице работал светофор. Магазин на первом этаже соседнего здания продолжал принимать покупателей. В доме Орловых несколько окон оставались освещёнными: часть квартир была подключена к другой секции, а кто-то ещё просто не успел заметить отключение.

Елена позвонила в аварийную службу управляющей организации.

— У нас пропало электричество. Наверное, на подстанции.

**Игорь Петрович, электромонтёр, задал три вопроса:**

— Во всём доме или только в квартире? В подъездах есть свет? Лифт работает?

Такие вопросы могут показаться формальностью, но именно по ним специалист получает первую карту повреждения. Если свет пропал только в квартире, искать нужно возле квартирного щита или внутри самой квартиры. Ес-

ли погас один подъезд, вероятнее всего, проблема связана с участком домовой сети, этажным щитом или вводом конкретной секции. Если темно стало в нескольких домах, круг поиска расширяется до распределительного пункта, кабельной линии или подстанции.

Через двадцать минут выяснилось, что на районной подстанции отключилась одна отходящая линия. Она питала два дома и часть нежилых помещений. Защитное устройство сработало не потому, что «подстанция сломалась целиком», а потому, что на одном из участков линии возникло повреждение. Остальные линии продолжали работать.

Это был первый важный поворот в расследовании: подстанция может быть общей для множества потребителей, но её электрическая схема разделена на отдельные участки. Поэтому одна авария способна погасить несколько домов, не оставив без света весь район.

### **Что на самом деле находится внутри**

Подстанция — не один прибор, а узел, в котором соединяются несколько функций. Точный состав оборудования зависит от класса напряжения, мощности, назначения и конструкции, но общую картину можно представить достаточно просто.

Сначала энергия приходит на сторону более высокого напряжения. Это может быть линия, передающая электричество от центра питания к районному узлу. Затем через коммутационные аппараты энергия поступает к трансформато-

ру. Трансформатор изменяет уровень напряжения. После него расположены устройства защиты и коммутации низшей стороны, откуда энергия расходится по отходящим линиям — к районам, зданиям или другим распределительным пунктам.

Внутри подстанции можно выделить несколько основных групп элементов.

Первая — токоведущие части и шины. Шина представляет собой проводник, рассчитанный на передачу значительно-го тока и соединение нескольких присоединений. Она играет роль общего электрического «коридора», к которому подходят линии, трансформаторы и отходящие фидеры. Фидер — отдельная линия, уходящая от подстанции к определённой зоне потребителей.

Вторая — силовой трансформатор. Он связывает две части сети с разными уровнями напряжения. В районной подстанции его задача обычно состоит в том, чтобы понизить напряжение с уровня, удобного для передачи и распределения по территории, до уровня, пригодного для местной сети. В крупных схемах преобразование происходит ступенчато: одна подстанция понижает напряжение до промежуточного уровня, другая — ближе к кварталу или дому.

Третья группа — выключатели, разъединители и другие коммутационные аппараты. Они позволяют включать и отключать отдельные участки, а при аварии автоматически разрывать цепь. Эти устройства не равнозначны бытовому

автомату в квартирном щите: они рассчитаны на гораздо большие токи, дистанционное управление и работу в сложных режимах.

Четвёртая — защита и автоматика. Они получают информацию о токе, напряжении, частоте и других параметрах, распознают опасные режимы и подают команду на отключение повреждённого участка. В некоторых схемах автоматика может повторно включить линию, если неисправность была кратковременной, например вызвана соприкосновением провода с веткой.

Пятая группа включает заземляющие устройства, измерительные трансформаторы, кабельные и воздушные вводы, системы управления и сигнализации, а также оборудование собственных нужд. Подстанцию требуется освещать, обогревать, контролировать и защищать от постороннего доступа. Даже если внешний потребитель отключён, оборудование узла должно оставаться под наблюдением персонала.

Эта схема разрушает распространённое представление о подстанции как о «большом трансформаторе». Трансформатор действительно меняет напряжение, но сам по себе не определяет, какой дом отключится и сколько продлится авария. На это влияют коммутация, защита, резервирование и конфигурация линий.

### **Почему трансформатор меняет масштаб**

В квартире напряжение воспринимается прежде всего как характеристика розетки. На подстанции оно становится ещё

и способом разделить сеть на уровни. Чем выше напряжение, тем меньший ток требуется для передачи той же мощности. Чем ближе энергия к потребителю, тем ниже становится напряжение и тем больше ток при той же передаваемой мощности.

Условный пример помогает увидеть логику. Если передавать мощность 1 МВт при напряжении 10 кВ, ток будет примерно в десять раз больше, чем при передаче той же мощности на 100 кВ. Потери в линии зависят от квадрата тока: если ток увеличить вдвое, потери на сопротивлении вырастут примерно в четыре раза. Поэтому сеть не сохраняет один и тот же уровень напряжения от электростанции до розетки, а меняет его по ступеням.

Трансформатор делает это электромагнитным способом — без механической передачи и без «перекачки» электронов из одной обмотки в другую. В обмотке высокого напряжения создаётся переменное магнитное поле. Через магнитопровод оно передаёт энергию в обмотку с другим напряжением. Частота переменного тока при этом сохраняется, а соотношение напряжений определяется соотношением числа витков.

Для бытового объяснения достаточно такой модели: трансформатор принимает энергию на одном уровне напряжения, передаёт её через магнитное поле и отдаёт на другом. Мощность при этом не возникает из ничего. С учётом потерь она немного уменьшается, а ток на стороне низкого напряжения становится больше, потому что напряжение стало

меньше.

На некоторых подстанциях предусмотрена регулировка напряжения. Нагрузка в сети меняется в течение суток: утром люди включают чайники и электроплиты, днём потребление в жилом районе обычно иное, а вечером снова возрастает. Если напряжение на стороне питания меняется, устройство регулирования помогает удерживать допустимый уровень на выходе. Это не значит, что подстанция исправляет любую проблему в квартире. Она управляет режимом сети, но не может устранить перегруженный удлинитель или плохой контакт в домашнем щите.

### **Как защита решает, кого отключить**

Аварийный ток не сообщает системе словами: «Я возник на кабеле между домами». Защита определяет место неисправности по измеряемым признакам и заранее заданной логике. Для этого на подстанции используют измерительные трансформаторы тока и напряжения, устройства релейной защиты и коммутационные аппараты.

При коротком замыкании сопротивление участка резко уменьшается, а ток возрастает. Защита фиксирует опасный режим и подаёт команду выключателю. Тот размыкает цепь и прекращает питание повреждённого участка. Время отключения зависит от типа защиты и конкретной схемы, но смысл всегда один: не дать аварийному току долго нагревать кабели, шины, контакты и оборудование.

Перегрузка развивается иначе. Это не обязательно мгно-

венный скачок тока из-за соприкосновения проводников. Линия может долго передавать ток выше расчётного, если к ней подключили слишком большую нагрузку или возникли нештатные условия. Проводники начинают нагреваться, и защита должна отключить участок с учётом времени. Слишком быстрое отключение привело бы к лишним перебоям, слишком медленное повысило бы риск повреждения оборудования.

Здесь действует принцип селективности. Он означает, что при аварии должна отключиться защита, ближайшая к месту повреждения, а не вся сеть сразу. Если короткое замыкание произошло в квартире, в идеальной ситуации сработает квартирный автомат. Если повреждён кабель от дома к распределительному пункту, отключится аппарат выше по схеме, а не вся подстанция. Если локальная защита не сработала или ток оказался настолько большим, что её недостаточно, отключение может перейти на следующий уровень.

Селективность не бывает абсолютной. Её ограничивают ток короткого замыкания, настройки аппаратов, состояние оборудования, сложность сети и необходимость защищать саму подстанцию. Поэтому неверно считать: «Раз сработала защита, значит, всё устроено неправильно». Отключение может быть нормальной реакцией системы на опасность. Важно другое: какой участок отключился, сработала ли нужная ступень и удалось ли быстро восстановить питание.

**Что было бы, если авария произошла ближе к дому**

Представим три похожих на первый взгляд случая.

В первом повреждён кабель, который питает только один подъезд. В этом подъезде гаснет свет, перестаёт работать лифт, а соседняя секция продолжает получать питание. Защита отключает одну ветвь или её участок. На подстанции для жильцов других домов может не измениться ничего заметного.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.